

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra mechanické technologie

**VLIV POUŽITÍ OCHRANNÝCH POVLAKŮ  
NA ŽIVOTNOST MOSTNÍCH KONSTRUKCÍ  
Z PATINUJÍCÍCH OCELÍ**

**Disertační práce**

Studijní program:	P2346 Strojní inženýrství
Studijní obor:	2303V002 Strojírenská technologie
Školitel:	doc. Ing. Jitka Podjuklová, CSc., prof. h. c.
Doktorand:	Ing. Tomáš Laník

Ostrava 2012

**ANOTACE****VLIV POUŽITÍ OCHRANNÝCH POVLAKŮ NA ŽIVOTNOST MOSTNÍCH  
KONSTRUKCÍ Z PATINUJÍCÍCH OCELÍ**

Mostní konstrukce jsou v současné době navrhovány s případnými opravami s životností na 100 let. Investiční náklady na výstavbu mostů i náklady na opravy havarijních stavů při zanedbání průběžné opravy a údržby jsou vysoké. Je tedy snahou hledat vhodné snížení nákladů. Toto snížení však nesmí být na úkor kvality dané konstrukce. Jednou z možností je využití nízkolegovaných ocelí se zvýšenou odolností proti atmosférické korozi tzv. patinující oceli. Za vhodných atmosférických podmínek vytvářejí na povrchu materiálu stabilní oxidickou vrstvu, tzv. patinu. Tato vrstva zapříčiňuje zpomalení procesu degradace materiálu. V případě, že nedochází k cyklickému ovlhčení a vysušení povrchu materiálu, patinující oceli se z korozního hlediska chovají podobně jako běžná uhlíková ocel a korodují stejnou rychlostí. Jestliže se nevytváří stabilní oxidická vrstva, aplikuje se na povrch materiálu vhodná povrchová úprava - nátěrový systém.

Nátěrové systémy patří k nejčastěji používané povrchové úpravě aplikované na mostních konstrukcích. V současné době existuje pro tyto aplikace celá řada nátěrových systémů doporučených výrobci. Důležitou roli v životnosti nátěrových hmot hraje vhodná předúprava povrchu před nanášením nátěrových hmot.

Disertační práce je zaměřena na studium korozní odolnosti vybraných nátěrových systémů, včetně přípravy povrchu patinujících ocelí před aplikací nátěrových systémů. Experimentální práce byly zaměřeny na testování nátěrových systémů na patinujících ocelích, které byly otryskány na stupeň přípravy povrchu Sa 1, Sa 2 a Sa 2 ½ a kartáčovány na stupeň přípravy povrchu St 2. Výsledky odolnosti nátěrových systémů exponovaných v prostředí s vysokou korozní agresivitou a působení roztoku posypových solí přináší cenné informace pro praxi.

**ANNOTATION****THE INFLUENCE OF PROTECTIVE COATING USE ON THE LIFETIME  
OF BRIDGE CONSTRUCTIONS FROM WEATHERING STEEL**

The bridge structures are now designed with possible repairs to the life of 100 years. The Investment costs for construction of bridges and repair costs of emergency conditions are very high in case of failure to do regular repairs and maintenance. So it is therefore to make an effort to find the right solution how to lower the costs. This reduction must not be at the expense of the quality of the design. One of the possibilities is to use low alloyed steels with higher resistance against corrosion called patina. Under the right atmospheric conditions it creates a stable surface oxide layer of material, called a patina. This layer causes slow degradation process of the material. In case that there is not a cyclical exposure to moisture and drying of the surface material, weathering steel from corrosion point of view behave like ordinary carbon steel and corrode at the same speed. If the stable oxidizing layer will be not created, a suitable surface treatment will be applied at the material - coating system.

Coating systems are the most frequently used for surface finishing which is applied on the bridge constructions. Currently there is a big range of coat systems for this application which is recommended by the manufacturer. The important role in the life of the coating paint is a suitable pre-treatment before paint application.

Dissertation thesis focuses on the study of the corrosion resistance of selected paint systems, including the weathering steel surface preparation before paint system's application. Experimental work were focused on testing of paint systems for weathering steel, which were blasted on the degree of surface preparation of Sa 1, Sa 2 and Sa 2 ½ and brushed to the degree of surface preparation St 2. The results of the resistance of paint systems exposed in high corrosive environments and exposure to road salt solution provide valuable information for practices.

## Obsah

<b>Seznam použitého značení.....</b>	<b>8</b>
<b>1. Úvod .....</b>	<b>11</b>
<b>2. Patinující oceli .....</b>	<b>13</b>
2.1 Vývoj patinujících ocelí .....	13
2.2 Mechanické vlastnosti patinujících ocelí.....	15
2.3 Vrstva patiny.....	17
2.3.1 Tvorba patinující vrstvy .....	17
2.3.2 Chemické složení patinující vrstvy .....	18
2.3.3 Vizuální hodnocení patinujících ocelí.....	19
2.4 Negativní vlivy ovlivňující tvorbu patinující vrstvy.....	23
2.4.1 Korozní namáhání – korozní agresivita prostředí.....	23
2.4.2 Zimní údržba s působením CHRL.....	27
2.4.3 Zanedbání údržby .....	30
2.5 Konstrukční zásady při navrhování mostních konstrukcí z patinujících ocelí .....	31
2.6 Příklady použití mostních konstrukcí z patinujících oceli.....	32
<b>3. Nátěrové systémy .....</b>	<b>35</b>
3.1 Aplikace nátěrových systémů na patinující oceli.....	35
3.2 Rozdělení nátěrových systémů .....	40
3.3 Složení nátěrových systémů .....	42
3.3.1 Filmotvorné látky .....	42
3.3.2 Pigmenty.....	43
3.3.3 Plniva.....	43
3.3.4 Těkavé organické látky – rozpouštědla .....	44
3.3.5 Ostatní přísady – Aditiva.....	45
3.4 Podmínky pro aplikaci nátěrových hmot.....	45
3.4.1 Rosný bod.....	46
3.4.2 Extremní podmínky .....	46
3.5 Nečistoty ovlivňující kvalitu nátěrového systému.....	47
3.5.1 Mastnota .....	48
3.5.2 Vlhkost .....	48
3.5.3 Anorganické sloučeniny rozpustné ve vodě .....	48
3.5.4 Korozní zplodiny.....	49
3.5.5 Okuje .....	49
3.5.6 Zbytky nátěrů .....	50
3.6 Předúprava materiálů.....	50
3.6.1 Mechanické předúpravy povrchu .....	50





3.6.1.1	Otryskávání.....	51
3.6.1.2	Broušení.....	55
3.6.1.3	Kartáčování.....	55
3.6.1.4	Tryskání suchým ledem.....	56
3.6.2	Chemické předúpravy povrchu.....	56
3.6.2.1	Odmašťování.....	57
3.6.2.2	Moření.....	59
3.6.2.3	Odrezování.....	59
3.7	Aplikace nátěrových systémů.....	60
3.7.1	Aplikace štětcem.....	60
3.7.2	Aplikace válečkem.....	61
3.7.3	Aplikace stříkáním.....	61
3.7.3.1	Nanášení nátěrových systémů pneumatickým stříkáním.....	61
3.7.3.2	Nanášení bezvzduchovým stříkáním.....	63
3.7.3.3	Stříkání nátěrových hmot v ohrátem stavu.....	63
3.7.3.4	Další aplikační technologie.....	64
3.8	Vady nátěrů.....	64
3.9	Údržba nátěrových systémů.....	66
3.10	Vliv nátěrových hmot na životní prostředí.....	69
<b>4.</b>	<b>Cíle disertační práce.....</b>	<b>72</b>
<b>5.</b>	<b>Metodika experimentálních zkoušek.....</b>	<b>73</b>
<b>6.</b>	<b>Charakteristika experimentálních zkoušek.....</b>	<b>74</b>
6.1	Vizuální hodnocení čistoty povrchu dle ČSN EN ISO 8501-1.....	74
6.2	Hodnocení zaprášení povrchu - zbytky korozních částic dle ČSN ISO 8502-3.....	75
6.3	Měření drsnosti podkladového materiálu dle ČSN EN ISO 4287.....	76
6.4	Stanovení tloušťky mokrého a suchého nátěrového filmu dle ČSN EN ISO 2808.....	77
6.5	Korozní zkouška v umělé atmosféře – zkouška solnou mlhou dle ČSN EN ISO 9227.....	78
6.6	Ponorová zkouška v solném roztoku.....	78
6.7	Urychlená atmosférická zkouška s postřikem solného roztoku – „Scab test“.....	79
6.8	Zrychlená ponorová zkouška odolnosti nátěru proti podkorodování dle ČSN 67 3087.....	79
6.9	Stanovení obsahu těkavých organických látek v nátěrové hmotě gravimetrickou metodou.....	80
6.10	Hodnocení stupně puchýřkování dle ČSN EN ISO 4628-2.....	82
6.11	Hodnocení stupně prerezávání dle ČSN EN ISO 4628-3.....	82
6.12	Hodnocení stupně delaminace a koroze v okolí řezu dle ČSN EN ISO 4628-8.....	82



6.13	Odtrhová zkouška přilnavosti dle ČSN EN ISO 16276-1 .....	83
6.14	Mřížková zkouška dle ČSN EN ISO 16276-2.....	84
<b>7.</b>	<b>Charakteristika vstupních materiálů.....</b>	<b>86</b>
7.1	Podkladové materiály .....	86
7.1.1	Ocelový plech s obchodním označením COR-TEN A.....	86
7.1.2	Ocelový plech s obchodním označením COR-TEN B .....	87
7.1.3	Ocelové plechy s obchodním označením Atmofix exponované 24 let.....	87
7.2	Nátěrové systémy .....	89
7.3	Posypová sůl.....	90
7.4	Značení vzorků.....	91
<b>8.</b>	<b>Výsledky experimentálních zkoušek .....</b>	<b>93</b>
8.1	Vizuální hodnocení čistoty povrchu dle ČSN EN ISO 8501-1 .....	93
8.2	Hodnocení zaprášení povrchu - zbytky korozních částic dle ČSN ISO 8502-3.....	95
8.3	Měření drsnosti podkladového materiálu dle ČSN EN ISO 4287 .....	97
8.4	SEM analýza povrchu materiálů .....	99
8.5	Zhotovení nátěrových filmů na ocelovém podkladu .....	103
8.6	Stanovení tloušťky mokrého a suchého nátěrového filmu dle ČSN EN ISO 2808.....	104
8.7	Korozní zkouška v umělé atmosféře – zkouška solnou mlhou dle ČSN EN ISO 9227.....	105
8.8	Ponorová zkouška v solném roztoku.....	113
8.9	Urychlená atmosférická zkouška s postřikem solného roztoku – „Scab test“ ....	117
8.10	Zrychlená ponorová zkouška odolnosti nátěru proti podkorodování dle ČSN 67 3087.....	121
8.11	Stanovení obsahu těkavých organických látek v nátěrových hmotách gravimetrickou metodou .....	124
<b>9.</b>	<b>Závěr .....</b>	<b>127</b>
	<b>Společenský přínos.....</b>	<b>130</b>
	<b>Seznam použité literatury .....</b>	<b>131</b>
	<b>Publikace autora související s danou problematikou .....</b>	<b>138</b>
	<b>Seznam příloh.....</b>	<b>141</b>

**Seznam použitého značení**

Znak	Veličina	Jednotka
ČD	České dráhy	[-]
ČR	Česká republika	[-]
ČSN	Česká státní norma	[-]
EN	Evropská norma	[-]
CHRL	chemické rozmrazovací látky	[-]
ISO	Mezinárodní norma	[-]
NDR	Německá demokratická republika	[-]
NS	nátěrový systém	[-]
PKO	protikorozní ochrana	[-]
RNH	rozpouštědlové nátěrové hmoty	[-]
RVHP	Rada vzájemné hospodářské pomoci	[-]
SSSR	Svaz sovětských socialistických republik	[-]
TEVÚH	Technickoekonomický výzkumný ústav hutního průmyslu	[-]
TKP	Technické kvalitativní podmínky	[-]
TP	Technický předpis	[-]
VN	Vnitropodniková norma	[-]
VOC	těkavé organické látky	[-]
VŘNH	vodou ředitelné nátěrové hmoty	[-]
Al	hliník	[-]
As	arsen	[-]
Bi	bismut	[-]
C	uhlík	[-]
Co	kobalt	[-]
CO <sub>2</sub>	oxid uhličitý	[-]
Cr	chrom	[-]
Cu	měď	[-]
Fe	železo	[-]
Mn	mangan	[-]
Mo	molybden	[-]
N	dusík	[-]

Nb	niob	[-]
Ni	nikl	[-]
P	fosfor	[-]
S	síra	[-]
Sb	antimon	[-]
Si	křemík	[-]
Sn	cín	[-]
Ta	tantal	[-]
Ti	titan	[-]
V	vanad	[-]
W	wolfram	[-]
Zn	zinek	[-]
-/Y	adhezní poškození mezi vrchní vrstvou a lepidlem	[%]
A	kohezní poškození podkladu	[%]
A/B	adhezní poškození mezi podkladem a první vrstvou	[%]
B	kohezní poškození první vrstvy	[%]
B/C	adhezní poškození mezi první a druhou vrstvou	[%]
C	kohezní poškození druhé vrstvy	[%]
$m(i)$	hmotnost Petriho misky s nátěrovou hmotou v průběhu vytvrzování	[g]
$m_{NHF}$	hmotnost Petriho misky s vysušenou nátěrovou hmotou	[g]
$m_{NHV}$	hmotnost nátěrové hmoty aplikované z injekční stříkačky	[g]
$m_{OF}$	hmotnost prázdné Petriho misky	[g]
$m_{OS}$	hmotnost prázdné injekční stříkačky před aplikací nátěrové hmoty	[g]
$m_{PF}$	hmotnost Petriho misky s nátěrovou hmotou	[g]
$m_{PS}$	hmotnost injekční stříkačky s nátěrovou hmotou	[g]
$m_{VS}$	hmotnost prázdné injekční stříkačky po aplikaci nátěrové hmoty	[g]
Ra	průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu	[ $\mu\text{m}$ ]
Rku	špičatost posuzovaného profilu	[-]
Rp	nejvyšší výška výstupku profilu	[ $\mu\text{m}$ ]
Rq	průměrná kvadratická úchylka posuzovaného profilu	[ $\mu\text{m}$ ]
Rsk	šikmost posuzovaného profilu (součinitel asymetrie)	[-]
Rv	největší hloubka prohlubně profilu	[ $\mu\text{m}$ ]
Ry	maximální výška profilu	[ $\mu\text{m}$ ]



Rz	nejvyšší výška profilu	[ $\mu\text{m}$ ]
$V_s$	objem stříkačky ( <i>objem nátěrové hmoty</i> )	[ $\text{cm}^3$ ]
Y	kohezní poškození lepidla	[%]
Y/Z	adhezní poškození mezi lepidlem a zkušebním tělískem	[%]
$\lambda_c$	filtr profilu	[mm]
$\rho_{NH}$	hustota nátěrové hmoty	[ $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ]

## 1. Úvod

Mostní konstrukce jsou nedílnou součástí sítě pozemní silniční a železniční dopravy. Jejich volba je dána rázem krajiny, kterou silnice nebo železnice prolíná. Všeobecně je snaha plánovat silniční komunikace tak, aby počet mostních konstrukcí byl co nejnižší, protože náklady na výstavbu se tímto tolik nenavýšují. V současné době se v České republice využívají železobetonové mostní konstrukce, konstrukce z uhlíkových konstrukčních ocelí s aplikovanými nátěrovými systémy a ocelové konstrukce z patinujících ocelí.

Nejvíce mostních konstrukcí z patinujících ocelí se v posledních letech realizovalo při stavbě dálniční sítě kolem Ostravy. Jedná se o dálnici D47, která při napojení na dálnici D1 převzala její označení. V Ostravě se realizovalo 6 mostních konstrukcí z této oceli, které překonávají řeku Odru, Opavu a Ostravici, tratě ČD, ale také důležité dopravní tahy. Nosná konstrukce je vyrobena s nízkolegované oceli se zvýšenou odolností proti atmosférické korozi S355J2G1W s horní betonovanou mostovkou. Tyto mostní konstrukce byly realizovány od roku 2000. Stav vznikající ochranné patinující vrstvy je velmi příznivý.

U některých mostních konstrukcí z patinujících ocelí, postavených převážně v 80. letech 20. století, z důvodů špatné údržby a nevhodného konstrukčního řešení nedochází k vytváření stabilní oxidické vrstvy tzv. patiny. U těchto konstrukcí nedochází k cyklickému zvlhčování a vysušování specifických ploch povrchu oceli. Jde převážně o problémy vzniklé zatékáním povrchové vody, která v zimních měsících obsahuje chemické rozmrazovací látky. U některých mostních konstrukcí se prováděly opravy aplikací nátěrových systémů, ale životnost nátěrů byla velmi nízká, většinou proto, že nebyl povrch dostatečně upraven před aplikací nátěrů, nebo nebyla odstraněna příčina poruchy tvorby patiny. Proto se někteří odborníci domnívají, že nátěrové systémy nejsou vhodným řešením pro tyto oceli.

Disertační práce je zaměřena na studium korozní odolnosti vybraných nátěrových systémů, včetně přípravy povrchu patinujících ocelí před aplikací nátěrových hmot. Příprava povrchu je zásadním předpokladem ovlivňující životnost aplikovaných nátěrových systémů. Doporučuje se povrch patinujících ocelí před aplikací nátěrových systémů okartáčovat na stupeň přípravy St 2 nebo otrýskat na stupeň přípravy Sa 2.

Experimentální práce jsou zaměřeny na testování a chování nátěrových systémů na patinujících ocelích, které byly otrýskány na stupeň přípravy povrchu Sa 1, Sa 2 a Sa 2 ½ a kartáčovány na stupeň přípravy povrchu St 2. Vzorky s nátěrovými systémy



byly vystaveny v prostředí s vysokou korozní agresivitou a působení roztoku posypových solí.

## **2. Patinující oceli**

Patinující oceli (weathering steel) se řadí do kategorie materiálů se zvýšenou odolností vůči atmosférické korozi. Na povrchu materiálu se při kontaktu s atmosférou vytváří stabilní oxidická vrstva tzv. patina. Díky této vlastnosti se oceli používají ve stavebnictví. Přínos je především ve snížení ekonomických nákladů na povrchovou ochranu materiálu. Tyto vlastnosti však mohou být splněny pouze za určitých podmínek, které jsou pro tyto oceli rozhodující.

### **2.1 Vývoj patinujících ocelí**

První oceli se zvýšenou odolností proti atmosférické korozi se objevily v roce 1910, kdy D. M. Buck prohlásil, že vytvořil ocel, která obsahuje 0,2 % a více obsahu mědi. Odolnost oceli proti atmosférické korozi se oproti uhlíkové oceli zvýšila 1,5 až 4 krát. Toto tvrzení se potvrdilo v 30. letech minulého století, kdy v USA při zpracovávání šrotu bylo problematické odstranit z materiálu měď. Tyto oceli se běžně používaly pro výrobu hornických vozíků a při jejich likvidaci se ukázalo, že byly velice málo poškozené.

První vyvinuté patinující oceli byly mikrolegované mědí. Později došlo k modifikaci chemického složení a oceli se začaly legovat Cu, P, Cr, Ni, Mo, V, Nb a Ti. Oceli byly patentovány v roce 1939 pod obchodním názvem COR-TEN. Nejprve se používaly pro důlní vozíky, železniční vagóny a přepravní kontejnery. Později se patinující oceli začaly používat na mostní konstrukce a rozšířily se i do Evropy. [1]

Ve světě byly patinující oceli použity pro řadu významných staveb zejména v USA, Japonsku, Velké Británii a Švédsku. K největším konstrukcím z patinujících ocelí patří zejména v Apalačském pohoří v Západní Virginii mostní konstrukce New River Gorge Bridge (viz obr. 1), který přemostňuje řeku New River Gorge. Rozpětí obloukového mostu je 520 m s délkou 924 m a byl dokončen v roce 1977. V průměru se přes tuto konstrukci přepraví 20 000 vozidel za den. Do roku 2003 byl největším obloukovým mostem na světě.

Vývoj patinujících ocelí v Evropě probíhal napříč všemi státy RVHP, především však v NDR a SSSR. Počáteční myšlenkou bylo, že se do 15 až 20 let budou využívat pouze patinující oceli a nahradí tak do té doby používanou konstrukční uhlíkovou ocel. V České republice byly vyvinuty patinující oceli s obchodním názvem Atmosfix. Tyto oceli se vyvíjely od 60. let 20. století s charakteristickými vlastnostmi srovnatelnými s oceli Corten. V roce 1975 byla vydána poradenská příručka týkající se patinujících ocelí



TEVÚH Č. 15 Technickoekonomickým výzkumným ústavem hutního průmyslu. Pro zajištění náležitého použití ocelí v roce 1978 byla vydaná směrnice „*Směrnice pro použití nízkolegovaných konstrukčních ocelí ATMOfIX se zvýšenou odolností proti atmosférické korozi*“. [2] Od 70. let 20. století se tyto oceli využívaly při výstavbě stožárů vysokého napětí a menších mostních ocelových konstrukcí, ale i pro opláštění různých objektů. Prohlídky stožárů poukázaly na velmi dobrý stav vytvořené patiny. Bohužel v místě ukotvení stožárů do betonových patek docházelo k zadržování vody a vzniku štěrbinové koroze. Tyto problémy měla vyřešit směrnice z roku 1978.



**Obr. 1** Mostní konstrukce New River Gorge Bridge (<http://fineartamerica.com>)

V 80. letech 20. století se patinující oceli začaly používat pro stavbu mostních konstrukcí. V Ostravě se jednalo o velmi známé „Svinovské mosty“, které přemostňují železniční trať. Tato mostní konstrukce je zajímavá, protože umožňuje srovnání životnosti a defektů vznikajících na mostní konstrukci s v blízkosti nacházející se mostní konstrukcí z konstrukční uhlíkové oceli s aplikovaným nátěrovým systémem.

Společnost Vítkovice a.s. Ostrava modifikovala v roce 1990 směrnici z roku 1978 a vydala vnitropodnikovou normu VN 73 1466. [2] 1. září 2008 vyšel v platnost technický předpis Ministerstva dopravy České republiky TP 197 „*Mosty a konstrukce pozemních komunikací z patinujících ocelí*“, který udává podmínky použití patinujících ocelí a je závazný pro stavby pozemních komunikací v resortu Ministerstva dopravy České republiky. Tento předpis je od počátku svého zavedení diskutován odbornou veřejností, která upozorňuje na nedostatky a chyby.

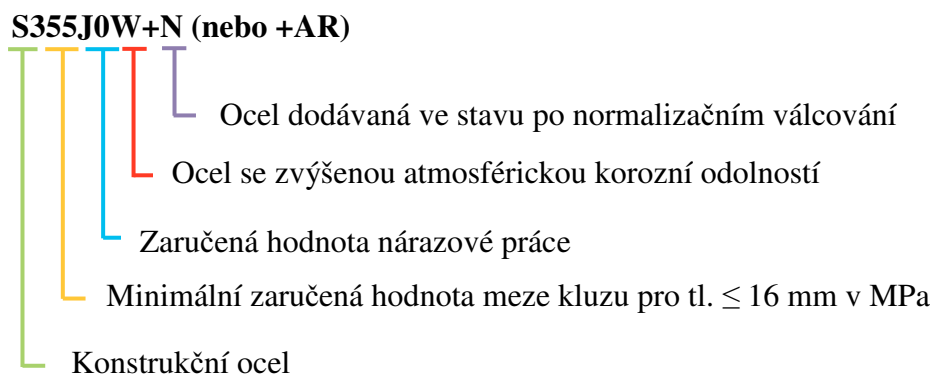
V rámci projektu Ministerstva průmyslu a obchodu MPO-FA-TA5/076 „*Výzkum vlastností stávajících a nově vyvíjených patinujících ocelí z hlediska jejich využití pro ocelové konstrukce*“, byly vydány dvě směrnice zaměřující se na použití a konstrukce

z patinujících ocelí. Jedná se o publikace: „*Směrnice pro používání oceli se zvýšenou odolností proti atmosférické korozi*“ a „*Použití patinujících ocelí v architektuře*“. [3, 4]

## 2.2 Mechanické vlastnosti patinujících ocelí

Norma ČSN EN 10025-5 „*Výrobky válcované za tepla z konstrukčních ocelí – Část 5: Technické dodací podmínky pro konstrukční oceli se zvýšenou odolností proti atmosférické korozi*“, uvádí oceli se zvýšenou odolností proti atmosférické korozi jako ocelí, do kterých bylo přidáno určité množství legujících prvků jako je fosfor, měď, chrom, nikl, molybden, atd. za účelem zvýšení odolnosti proti atmosférické korozi. Vlivem těchto legujících prvků a povětrnostních podmínek se vytváří na základním materiálu ochranná vrstva oxidů. Patinující oceli se řadí dle ČSN EN 10025 mezi legované ušlechtilé oceli s obsahem legujících prvků do 2 %. Mechanické vlastnosti dle ČSN EN 10025-5 jsou podobné jako u oceli S235 a S355, které se liší obsahem uhlíku a fosforu.

Dle normy ČSN EN 10027-1 se tyto oceli značí následujícím způsobem:



Pro stavební konstrukce se nejběžněji používají oceli S235, S275 a S355. Pro staticky zatížené konstrukce budov s obvodovým pláštěm postačují oceli typu S235JR, pro mosty je nutné volit ocel S235J2G3, příp. pevnější ocel S355K2G3. Patinující ocel Atmofix 15127 má dle ČSN EN 10027 označení S355 W:

- ocel 15127 Atmofix A (Cr-Ni-Cu-P) – válcované výrobky o tloušťce 12 až 16 mm,
- ocel 15127 Atmofix B (Mn-Cr-Ni-Cu) - válcované výrobky o tloušťce do 50 mm a svařované konstrukce. [5]

**Tab. 1** Chemické složení patinujících ocelí Atmofix (VN 73 1466)

Jakost oceli	Chemické složení tavby [%]										
	C	Mn	Si	Cr	Ni	Cu	P	S	Nb	V	Al
<b>Atmofix A 15 217</b>	max. 0,12	0,30 1,00	0,25 0,75	0,50 1,25	0,30 0,60	0,30 0,55	0,06 0,15	max. 0,04	-	-	min. 0,01
<b>Atmofix B 15 127</b>	0,10 0,17	0,90 1,20	0,20 0,45	0,40 0,80	0,30 0,60	0,30 0,55	max. 0,04	max. 0,04	0,02 0,06	0,02 0,06	min. 0,01

**Tab. 2** Chemické složení patinujících ocelí používané pro mosty dle ČSN EN 10025-5

Jakost oceli	Chemické složení tavby [%]								
	C	Mn	Si	Cr	Cu	N	P	S	Dodávání prvků, které vážou dusík
<b>S355J2W</b>	0,16	0,50	0,5	0,40	0,25	-	max. 0,030	0,030	ano
<b>S355K2W</b>		1,50		0,80	0,55	-	max. 0,030	0,030	ano

**Tab. 3** Mechanické vlastnosti plechů Atmofix [5]

Jakost oceli	Tloušťka [mm]	Mez kluzu [MPa]	Pevnost v tahu [MPa]	Tažnost napříč A5 (%)	Vrubová houževnatost (J.cm <sup>-2</sup> )			
					°C	typ	průměr	min
<b>Atmofix A 15217</b>	do 12	345	470-590	22	0	KCU3	70	35
<b>Atmofix B 15127</b>	do 16	355	470-620	22	-20	KCV	35	25
	do 35	345						
	do 50	335						

**Tab. 4** Mechanické vlastnosti plechů z patinující ocelí používané pro mosty dle ČSN EN 10025-5 [1]

Jakost oceli	Minimální mez kluzu R <sub>eH</sub> [MPa]						Pevnost v tahu R <sub>m</sub> [MPa]			Teplota [°C]	Minimální nárazová práce KV [J]
	Jmenovitá tloušťka [mm]						Jmenovitá tloušťka [mm]				
	≤ 16	> 16 ≤ 40	> 40 ≤ 63	> 63 ≤ 80	> 80 ≤ 100	> 100 ≤ 150	< 3	≥ 3 ≤ 100	≥ 100 ≤ 150		
S355J2W	355	345	335	325	315	295	510-680	470-630	450-600	-20	27
S355K2W										-20	40

Od roku 2005, kdy vešla v platnost norma ČSN EN 10025-5, přestaly být oceli Atmofix A vhodnou volbou materiálu pro mostní konstrukce. Norma předepisuje minimální hodnotu vrubové houževnatosti, kdy výrobce musí garantovat předepsanou hodnotu i při - 20 °C. Ocel Atmofix A toto nesplňuje. Mechanické vlastnosti jsou pro oceli Atmofix A garantovány pouze do 12 mm tloušťky materiálu. Pevnost v tahu  $R_m$  je u oceli Atmofix A omezena hodnotami 470 až 590 MPa. U ocelí Atmofix B je mez pevnosti garantována do tloušťky 50 mm v rozsahu hodnot meze pevnosti  $R_m$  470 až 620 MPa. [1] Pro mostní konstrukce se nejčastěji používají oceli S355J2W + N.

## **2.3 Vrstva patiny**

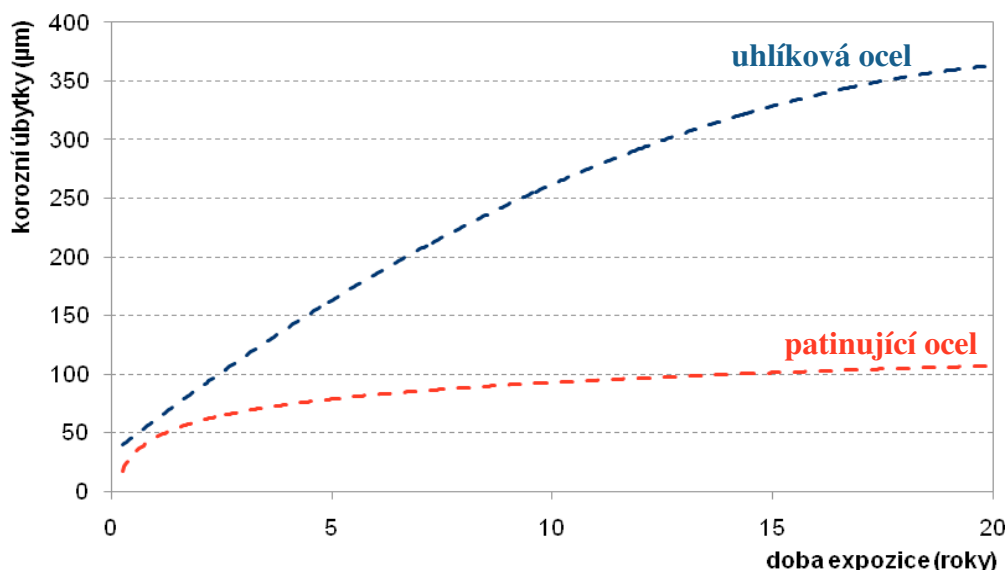
Ochranná účinnost vzniklých vrstev korozních produktů závisí zejména na jejich schopnosti chránit materiál proti pronikání agresivního prostředí patinující vrstvou a významně snižovat korozní rychlost. [6] Teoreticky se jedná o oxidickou vrstvu, která funguje jako ochranná bariéra mezi okolním prostředím a materiálem. Tato vrstva však není úplně stabilní a vlivem korozního prostředí dochází k pozvolnému koroznímu úbytku.

### **2.3.1 Tvorba patinující vrstvy**

Při vhodných atmosférických podmínkách dochází ke vzniku pevné a přilnavé korozní vrstvy s omezenou propustností, která je označována jako patina. Atmosférické podmínky ovlivňují tvorbu, barvu i strukturu vznikající patiny, což může mít za následek vliv na ochrannou funkci. Za vhodných atmosférických podmínek se patinující vrstva vytváří na povrchu materiálu cca 3 až 5 let. Vytváření patinující vrstvy ovlivňují legující prvky, především obsah mědi, chromu, fosforu a niklu. Maximální tloušťka ochranné oxidické vrstvy v ustáleném stavu na dobře provětrávaných plochách je 250  $\mu\text{m}$ . V přístřeškových polohách, kde je ještě patina ochranná, může mít tloušťku až 300  $\mu\text{m}$ .

Vznik patinující vrstvy může probíhat pouze za přítomnosti elektrolytu, který je tvořen vzdušnou vlhkostí na povrchu materiálu. Jedná se o elektrochemický děj. Při vzniku ochranné patinující vrstvy musí v prostředí docházet k cyklickému střídání vlhkého a suchého povrchu exponovaného materiálu. Jestliže se materiály nachází v prostředí, kde není tento předpoklad naplněn a povrch je trvale vlhký, proces vzniku patinující vrstvy

neprobíhá. Ve srovnání s uhlíkovou konstrukční ocelí tyto oceli při dlouhodobé expozici degradují pomaleji a jejich korozní úbytek je menší, viz obr. 2.



**Obr. 2** Příklad korozních úbytků uhlíkové a patinující oceli v průmyslovém prostředí ČR s korozní agresivitou stupně C4 [4]

### 2.3.2 Chemické složení patinující vrstvy

Chemické složení patinující vrstvy je ovlivněno složením prostředí (korozní agresivita a znečištění prostředí) a dobou expozice materiálu. Na složení oxidické vrstvy mají vliv legující prvky. Patina se skládá z několika vrstev, a každá vzniklá vrstva má odlišné mechanické vlastnosti. Hlavními složkami patiny je goethit ( $\alpha$ -FeOOH), akaganeit ( $\beta$ -FeOOH), lepidokrokit ( $\gamma$ -FeOOH), magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), amorfni a nestechiometrické sloučeniny.

Na povrchu materiálu se rozpouštějí ionty kovu a vytvářejí se sloučeniny  $\text{Fe}(\text{OH})_x$ ,  $\text{Cr}(\text{O}, \text{OH})_6$  a  $\text{CuO}_x$ , které jsou nukleárními jádry pro další korozní produkty. V průběhu další expozice přechází tyto sloučeniny na lepidokrokit ( $\gamma$ -FeOOH) a poté vlivem cyklického střídání vlhkého a suchého povrchu na goethit ( $\alpha$ -FeOOH), který je nejstabilnější fází. [5]

Korozní produkty lepidokrokit  $\gamma$ -FeOOH jsou nestabilní sloučeninou, která podléhá transformaci na magnetit anebo maghemit v prostředí obsahujícím kyslík. Lepidokrokit vytváří jemné částice o velikosti od 1 nm, které se postupně spojují, až vytvoří vrstvu korozních produktů z částic goethitu  $\alpha$ -FeOOH. Goethit může přispívat k ochranným



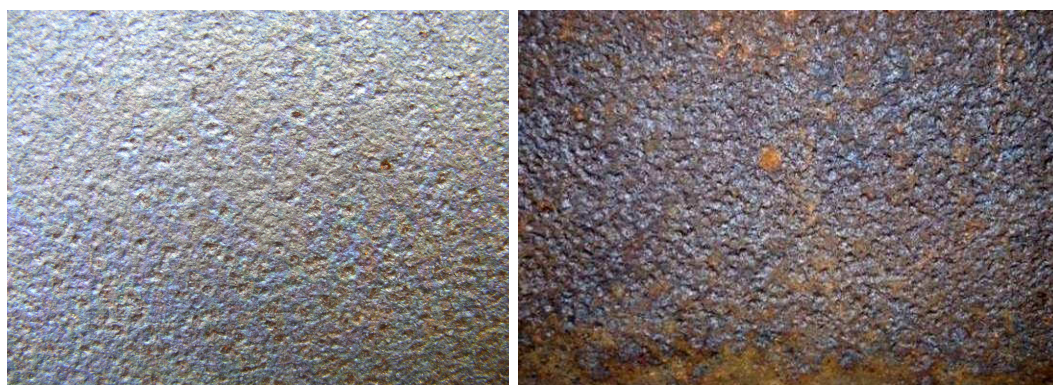
vlastnostem povrchové vrstvy, protože je více stabilní, a jestliže je přítomen ve formě malých částic, zabraňuje pronikání vody, kyslíku, chloridových iontů do spodních vrstev rzi až k povrchu oceli. Průměrná velikost částic goethitu na patinujících ocelích je 8 – 25 nm na rozdíl od uhlíkových ocelí, kde je velikost částic goethitu 25 – 500 nm. Akaganeit  $\beta$ -FeOOH je typický pro prostředí s chloridy. [5]

### **2.3.3 Vizuální hodnocení patinujících ocelí**

Stabilní vrstva patiny má lesklé tmavohnědé zabarvení povrchu, které však závisí na korozním prostředí, kde je materiál exponovaný. Prostedí ovlivňuje výsledné ochranné vlastnosti patinující vrstvy.

Při hodnocení je nutné dbát na:

- celkový vzhled vzorků,
- barvu vzorku (porovnání se stupnicí),
- lesk,
- povrchovou stavbu vrstvy rzi,
- velikost částic,
- odolnost proti oděru,
- přilnavost vrstvy. [5]



**Obr. 3** *Vzhled povrchu stabilně vzniklé patiny*

Velkou vypovídající hodnotu o vzniklé oxidické vrstvě má samotný vzhled povrchu vzniklé patiny. Existují obrázkové standardy, podle kterých lze zařadit vzniklou patinu mezi vhodnou, přípustnou nebo nevyhovující.

V Japonsku vznikl z dlouhodobých prohlídek obrázkový standard pro patinující oceli, který vyvinul Japan Iron and Steel Federation (JISF) a Japan Association of Steel Bridge Construction (JASBC). Tento standard je zobrazen na obr. 4. Oproti standardu uvedeného v TP 197 neuvádí přípustnost ani předpokládanou dobu expozice. Podle předpokládaného korozního úbytku lze však předpokládat chování patinující oceli v daném korozním prostředí. Klasifikační stupeň 1 až 4 je určen pro konstrukce dlouhodobě exponované. Stupeň 5 určuje vzhled povrchu exponovaného do 3 let. Jde tedy o stupeň určující počáteční vývoj vzniku stabilní patinující vrstvy.

Označení	Detail vzhledu	Charakteristika	Vzhled patiny na mostní konstrukci
1		velmi objemná a odlupující se vrstva tloušťka $>800\mu\text{m}$  korozní úbytek 50 mm/100 let	
2		velikost částic: cca 5-25 mm částečně objemná a odlupující vrstva tloušťka $>400\mu\text{m}$  korozní úbytek 2 mm/100 let	
3		velikost částic: 1-5 mm nerovnoměrná vrstva tloušťka $<400\mu\text{m}$  korozní úbytek 0,5 mm/100 let	
4		velikost částic: jemně přilnavá a rovnoměrná vrstva barva: tmavě hnědá tloušťka $<400\mu\text{m}$  korozní úbytek 0,5 mm/100 let	
5		velikost částic: jemné barva: světle hnědá tloušťka $<200\mu\text{m}$  korozní úbytek 0,4 mm/100 let	

**Obr. 4** Klasifikace vizuálního hodnocení vrstvy patiny [5, 7]



TP 197 uvádí systém vizuálního hodnocení povrchu patiny (viz obr. 7), který vznikl pro Českou republiku podle hodnocení mostních konstrukcí v USA a v Evropě. Klasifikace je podobná japonskému standardu. Tento systém se více zaměřuje na detailní poškození a nehodnotí plochu povrchu určité části mostní konstrukce. To je splněno pouze u klasifikačního stupně 5. U ostatních klasifikačních stupňů je hodnocení zaměřeno na místa svarových spojů, přechodu mezi betonovou deskou a nosníky, nebo se zaměřuje na hodnocení povrchu patiny do 10 cm nad dolní pásnicí. Pověřená osoba by podle tohoto klasifikačního systému mohla konstrukci označit jako nevyhovující, i když se může jednat pouze o lokální poškození. Z uvedených etalonů je přípustnější etalon vyvinutý v Japonsku, který přesněji hodnotí celý stav povrchu patiny. Přesto ani jeden z etalonů neukazuje variabilitu vzhledu patiny.

Příklady vzhledu ochranné patiny z reálných konstrukcí po různé době expozice v různých podmínkách jsou uvedeny na obr. 5 a 6. [4]



**Obr. 5** Příklady ochranné patiny na nepřímo smáčených plochách [4]



**Obr. 6** Příklady ochranné patiny na přímo smáčených plochách [4]



Stupeň koroze	Detail koroze	Charakter korozních produktů/rzi, stupeň	Pohled na mostní konstrukci
1		Tvar: puchýře, odlupování po souvislých vrstvách délky nad 25 mm Barva: tmavě hnědá, skvrny tloušťka: > 800 $\mu\text{m}$ <b>NEPŘÍPUSTNÝ</b>	
2		Tvar: listky, k podkladu nepřilnutá vrstva korozních produktů, vytváří dílky pod listky Barva: tmavě hnědá, skvrny tloušťka: > 400 $\mu\text{m}$ , listky velikosti od 6 mm do 25 mm <b>VYŽADUJE SLEDOVÁNÍ A MĚŘENÍ KOROZNÍHO OSLABENÍ</b> <b>NEPŘÍPUSTNÝ</b>	
3		Tvar: šupiny, nepřilnuté k podkladu Barva: tmavě hnědá, skvrny tloušťka: < 400 $\mu\text{m}$ , drobné šupiny velikosti od 1 do 5 mm <b>VYŽADUJE SLEDOVÁNÍ A MĚŘENÍ KOROZNÍHO OSLABENÍ</b> <b>NEPŘÍPUSTNÝ</b>	
4		Tvar: šupinky, zrnité, jemné, částečně přilnuté k podkladu Barva: středně až tmavě hnědá tloušťka: < 400 $\mu\text{m}$ , drobné šupinky do 1 mm <b>PŘÍPUSTNÝ</b>	
5B		Tvar: tvrdá, k podkladu přilnutá vrstva korozních produktů, není možné ruční odstranění Barva: tmavě hnědá až fialová, stádium na fotografii po 30 - ti letech tloušťka: < 200 $\mu\text{m}$ <b>PŘÍPUSTNÝ, CÍLOVÝ STAV</b> Poznámka: - Celoplošně nebylo zjištěno na žádné ocelové konstrukci, pouze lokální výskyt - Hrubá struktura, strukturovaný povrch (u mostů není žádoucí, neboť usnadňuje usazování nečistot)	
5A		Tvar: velmi jemná, práškovitá přilnutá rez k podkladu, počáteční stádium vývoje ochranné vrstvy (prvních 0-3 let) Barva: světle oranžová až středně hnědá tloušťka: < 200 $\mu\text{m}$ <b>PŘÍPUSTNÝ</b>	

**Obr. 7** Etalon korozního poškození patinující oceli, platný pro pozemní komunikace v ČR (hodnocení přípustnosti stupně koroze podle TP 197 MD ČR Mosty a konstrukce pozemních komunikací z patinujících ocelí [2])

## 2.4 Negativní vlivy ovlivňující tvorbu patinující vrstvy

Použití nízkolegovaných materiálů se zvýšenou odolností proti atmosférické korozi u dopravních staveb je dobrou volbou. Použití těchto ocelí zajišťuje značnou ekonomickou úsporu. U konstrukcí může docházet k negativnímu ovlivnění okolním prostředím. V těchto případech se na povrchu materiálu tvoří objemná vrstva korozních produktů, které nemají ochranné vlastnosti a postupně odpadávají, a degradace materiálu postupuje velmi rychle jako u uhlíkových konstrukčních materiálů. [8]

K negativním vlivům ovlivňující vznik stabilní patinující vrstvy lze zařadit:

- korozní prostředí – korozní agresivita prostředí,
- zimní údržba s působením chloridů z chemicky rozmrazovacích látek (CHRL),
- zanedbání údržby.

Vznik patiny mohou ovlivňovat i další vlivy, jako může být vliv dynamického namáhání mostní konstrukce a další. Zásadně jsou uvedeny tyto tři negativní vlivy (uvedené výše), protože patří k nejčastěji diskutovaným tématům.

### 2.4.1 Korozní namáhání – korozní agresivita prostředí

Korozní agresivita prostředí je důležitou charakteristikou pro představu vývoje a chování materiálů při dlouhodobé expozici v korozním prostředí. Pro projektanty je důležité při návrhu konstrukce předpokládat korozní agresivitu prostředí v dané lokalitě umístění navrhované konstrukce. Tyto informace napomáhají při návrhu korozních přídavek a pro ekonomické hodnocení korozních škod a účelnou volbu protikorozi ochrany. [9] Při návrhu korozních přídavek se vychází z jednotlivých dílů konstrukce s minimálním přídávkem 1 mm na tloušťku plechu.

Korozní agresivita prostředí se podle normy ČSN ISO 9223 „Koroze kovů a slitin. Korozní agresivita atmosféry. Klasifikace“, zařazuje do pěti stupňů. Norma ČSN EN ISO 12 994-2 „Nátěrové hmoty – Protikorozi ochrana ocelových konstrukcí ochrannými nátěrovými systémy – Část 2: Klasifikace vnějšího prostředí“, rozděluje stupeň C5 do dalších dvou stupňů podle převažujícího typu korozního namáhání (působení prostředí) a k jednotlivým stupňům přiřazuje informativní příklady typického prostředí, viz tab. 5.

Tab. 5 Klasifikace korozního prostředí dle ČSN EN ISO 12 944-2 [58]

Stupeň korozní agresivity	Příklady typických prostředí mírných klimatických pásem (pouze informativní)	
	Venkovní	Vnitřní
<b>C1</b> velmi nízká		Vytápěné budovy s čistou atmosférou, např. kanceláře, školy, obchody, hotely
<b>C2</b> nízká	Atmosféry s nízkou úrovní znečištění, převážně venkovské prostředí	Nevytápěné budovy, kde může docházet ke kondenzaci vlhkosti, např. sklady, sportovní haly
<b>C3</b> střední	Městské a průmyslové atmosféry s mírným znečištěním oxidem siřičitým; přímořské prostředí s nízkou salinitou	Výrobní prostory s vysokou vlhkostí a malým znečištěním ovzduší, např. výroby potravin, prádelny, pivovary, mlékárny
<b>C4</b> vysoká	Průmyslové prostředí a přímořské prostředí s mírnou salinitou	Chemické závody, plavecké bazény, loděnice a doky na mořském pobřeží
<b>C5-I</b> velmi vysoká (průmyslová)	Průmyslové prostředí s vysokou vlhkostí a agresivní atmosférou	Budovy nebo prostředí s převážně trvalou kondenzací a s vysokým znečištěním ovzduší
<b>C5-M</b> velmi vysoká přimořská	Přimořské prostředí s vysokou salinitou	Budovy nebo prostředí s převážně trvalou kondenzací a s vysokým znečištěním ovzduší

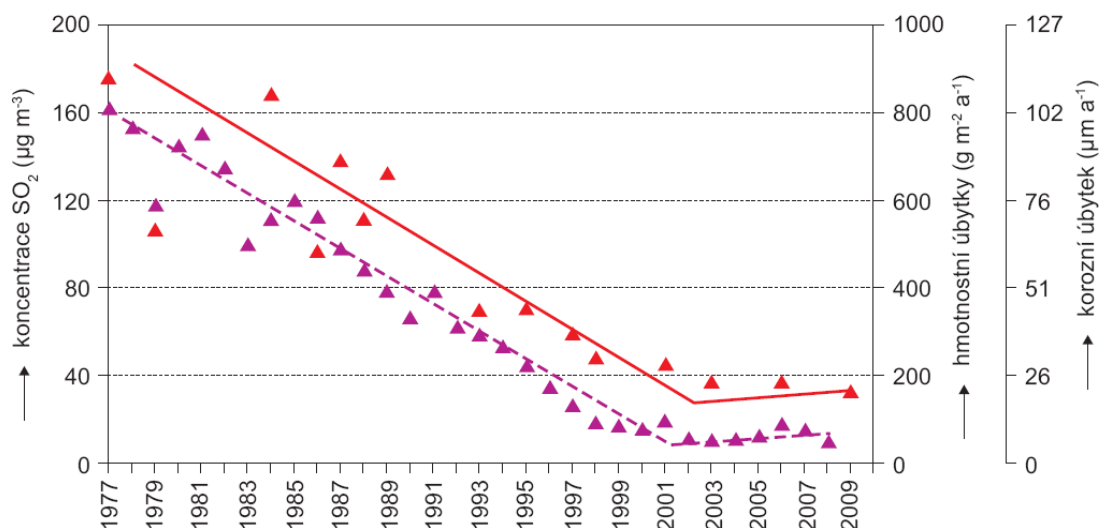
Stav korozní agresivity prostředí je bedlivě sledován na celém světě. Pro určení korozní agresivity prostředí je nutné využít jednorocní expozici vzorků dle normy ČSN ISO 9226 „Koroze kovů a slitin. Korozní agresivita atmosfér. Stanovení korozní rychlosti standardních vzorků pro určení korozní agresivity.“ Používají se vzorky uhlíkové oceli, mědi, hliníku a zinku o standardní velikosti. Tyto vzorky se připravují a exponují dle normy ČSN EN ISO 8565 „Kovy a slitiny. Atmosférické korozní zkoušky. Základní požadavky na staniční zkoušky.“ Po expozici se z povrchu vzorků odstraní oxidická vrstva mechanickou nebo chemickou cestou dle normy ČSN EN ISO 8407 „Odstranění korozních zplodin ze vzorků podrobených korozním zkouškám.“ Poté se stanoví korozní rychlost po prvním roce expozice, která slouží pro určení korozní agresivity prostředí dané lokality. [59, 60, 61]

V rámci projektu MPO FT-TA5/076 vznikla korozní mapa České republiky určující v dané lokalitě korozní agresivitu prostředí pro patinující oceli. Zároveň byly vytvořeny



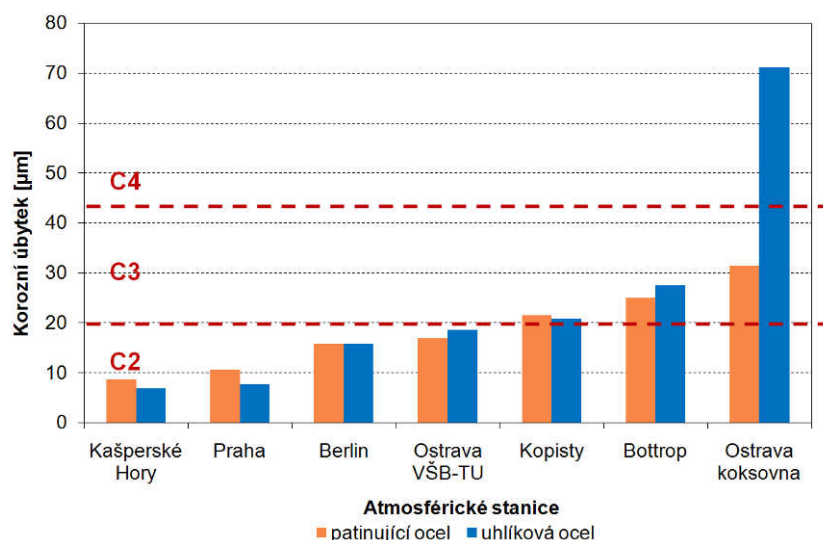
i mapy ČR s korozními úbytky patinující oceli pro interval 30, 50 a 100 let. Pro snadnější a přesnější určení korozních úbytků byl vytvořen i software, který při zadání požadovaných vstupních dat vypočte předpokládaný korozní úbytek materiálu jak po prvním roce expozice, tak i po dlouhodobé expozici.

Znečištění prostředí v České republice se za posledních 20 let výrazně zlepšilo, což se projevilo i na snížení korozní agresivity prostředí. Tyto změny lze dokumentovat na příkladu měření, která se prováděla od roku 1977 na atmosférické stanici Kopisty u Mostu (průmyslové prostředí). Z obr. 8 je patrné, že došlo k výraznému snížení obsahu  $\text{SO}_2$  v ovzduší a od roku 2001 se koncentrace  $\text{SO}_2$  ustálila. I korozní úbytek uhlíkové oceli výrazně poklesl a dokumentuje, že došlo ke snížení korozní agresivity prostředí.



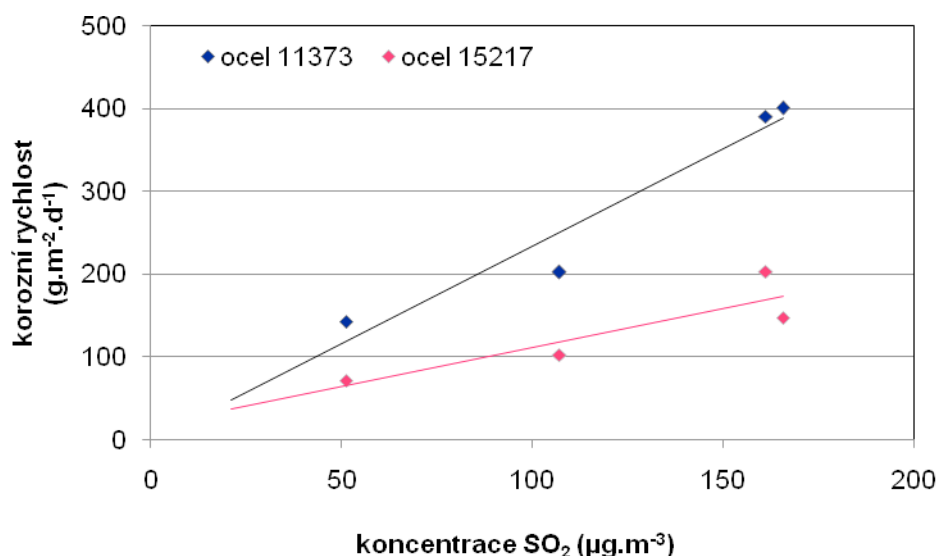
**Obr. 8** – Roční průměrné koncentrace  $\text{SO}_2$  (přerušovaná čára) a roční korozní úbytky uhlíkové oceli (plná čára) na atmosférické stanici Kopisty [10]

V České republice se koncentrace  $\text{SO}_2$  na více než 80 % území pohybuje kolem  $15 \mu\text{g.m}^{-3}$ , čemuž odpovídá korozní agresivita prostředí stupně C2 - C3 pro ocel (patinující i uhlíkovou). Ostatní lokality, především se jedná o Severní Čechy a Ostravsko, vykazují korozní agresivitu prostředí C3 - C4. Lokalita Ostrava-Přívoz, kde se nachází koksovna Svoboda, vykazuje vyšší korozní úbytky, které jsou v porovnání s ostatními atmosférickými stanicemi 4 až 5krát násobné. Korozní agresivita prostředí je klasifikována stupněm C4 pro ocel. Na obr. 9 je patrný rozdíl korozních úbytků uhlíkové oceli na jednotlivých atmosférických stanicích. [10]



**Obr. 9** Korozní úbytky uhlíkové a patinující oceli po prvním roce expozice na atmosférických stanicích v ČR v období 2008/2009 [10]

Patinující oceli v prostředí s mírným znečištěním  $\text{SO}_2$  vytvářejí ochrannou oxidickou vrstvu. V případě, že obsah  $\text{SO}_2$  v prostředí překračuje  $100 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ , dochází ke snížení ochranné schopnosti patiny a proces tvorby patiny je podobný jako u běžné uhlíkové oceli.



**Obr. 10** Vliv koncentrace  $\text{SO}_2$  na korozní rychlost uhlíkové (11373) a patinující (15217) oceli [5]

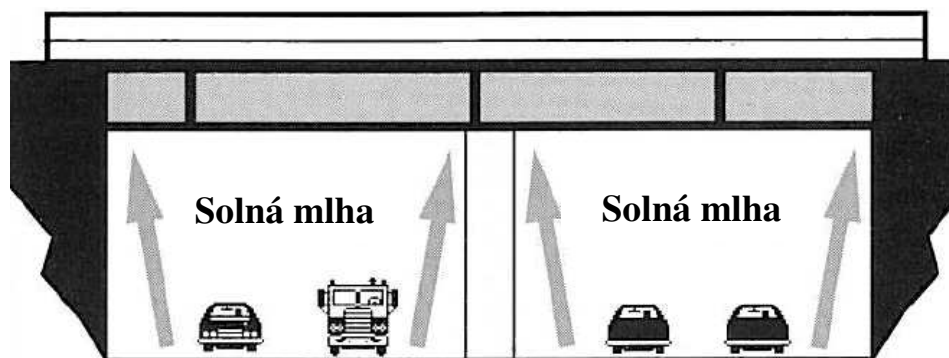
Na obr. 10 je zobrazeno porovnání tvorby patinující vrstvy uhlíkové a patinující oceli při expozici v prostředí s rozdílným obsahem  $\text{SO}_2$ . V počátku se korozní rychlost u ocelí výrazně neliší a se stoupajícím obsahem  $\text{SO}_2$  se korozní rychlost zvyšuje. [5]

## 2.4.2 Zimní údržba s působením CHRL

V zimních měsících se provádí údržba silničních komunikací chemickými rozmrazovacími látkami. Jejichž vysoká agresivita negativně ovlivňuje korozní namáhání silničních vozidel a také dopravní infrastruktury včetně mostních konstrukcí.

Nejrozšířenějším chemickým rozmrazovacím materiálem je NaCl (chlorid sodný), který se používá ve formě solanky, ale také v pevném stavu. Jeho optimální použití je do  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$  až  $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$ . V případě, že teplota je nižší, aplikuje se solanka, jelikož NaCl je v pevném stavu neúčinný.

Při aplikaci část částic soli přechází do vznosu po průjezdu vozidel a ulpívají na konstrukčních částech mostů (viz. obr. 11), nebo po rozmrazení sněhu společně odtékají. Některé mostní konstrukce nemají dobře navržen systém svodu povrchové vody, nebo došlo k jeho odcizení. Díky tomu voda stéká přímo po mostní konstrukci. [11] Negativní vliv posypových solí se vyskytuje i při dalších ročních obdobích, kdy je povrch konstrukcí kontaminován depozicemi sekundární prašnosti obsahující chloridy.



*Obr. 11 Tunelový jev na mostních konstrukcích [12]*

Při kontaminaci povrchu patinujících ocelí chloridy nedochází k vytváření stabilní oxidické vrstvy a materiál koroduje stejným mechanismem a rychlostí jako konstrukční uhlíkové oceli. Tento negativní jev potvrzují i urychlené atmosférické a laboratorní zkoušky, při kterých se sledovalo ovlivnění tvorby patiny solíciemi roztoky. Vznikající vrstva korozních produktů je velmi porézní, křehká a nemá ochrannou vlastnost. [13] Jeden ze směrů současného vývoje typů patinujících ocelí se zaměřuje na legování Ni až do 3 %. Tyto oceli by měly mít vyšší odolnost v prostředí s vyšší koncentrací chloridů. Využitím Ni se zvyšuje i cena oceli a mohou vzniknout komplikace při jejich recyklaci.

Vliv nedostatečného cyklického zvlhčování a vysušování nebo zatékání povrchové vody s obsahem posypových solí je viditelný na obr. 12 až 15. Je patrné, že zde nedošlo k vytvoření stabilní oxidické vrstvy.



**Obr. 12** vlevo: Stav okapů na OD Tesco Liberec, 2004; vpravo: Stav lemu ochozu BDK Praha, 2005 [14]



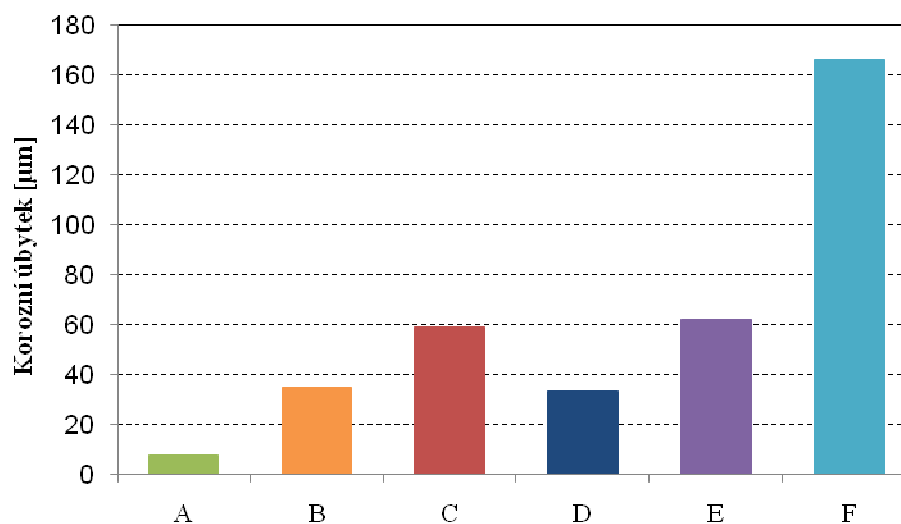
**Obr. 13** vlevo: Netěsné mostní závěry – nejčastější příčina významných poruch patiny, pravý horní: Nedostatečná délka odtokové trubky (kontaminace nosníku povrchovou vodou), pravý dolní: povrch ovlivněný zatékáním z netěsné ortotropní mostovky [4]



**Obr. 14** Zatékání odtokovými otvory z vrchní části mostovky [15]



**Obr. 15** Zatékání povrchové vody na konstrukci [15]



**Obr. 16** Porovnání korozních úbytků patinující oceli Atmosfix po prvním roce expozice v různých podmínkách [16]

(A – volná atmosféra, B – volná atmosféra u dopravní komunikace, C – přístřešek u dopravní komunikace, D – Scab test, E – 1000 h CHRL, F – 1000 h neutrální solná mlha)



Korozní úbytek patinující oceli Atmosfix v různých prostředích zobrazuje obr. 16. Na obrázku je patrný korozní úbytek při expozici ve volné atmosféře u dopravní komunikace, který lze srovnat s korozním úbytkem po Scab testu (zkouška prováděná postřikem 5 % solného roztoku a vody 2 x týdně, 1 rok). Srovnatelné jsou i stanovené korozní úbytky v přístřešku u dopravní komunikace s expozicí 1000 h v CHRL (chemické rozmrazovací látky).

### **2.4.3 Zanedbání údržby**

Údržba konstrukcí z patinujících ocelí je velmi důležitou součástí provozu a především životnosti dané konstrukce. Jedná se o další vynaložené náklady, které jsou dnes většinou použity pro jiné účely a majitelé konstrukcí tímto zanedbávají svou povinnost. Je nutné si uvědomit, že náklady vynaložené na jednoroční údržbu mohou být pro majitele konstrukce přítěží, ale následky zanedbávání mohou být časem mnohokrát vyšší.



**Obr. 17** Příklady zanedbané údržby mostních konstrukcí [17]

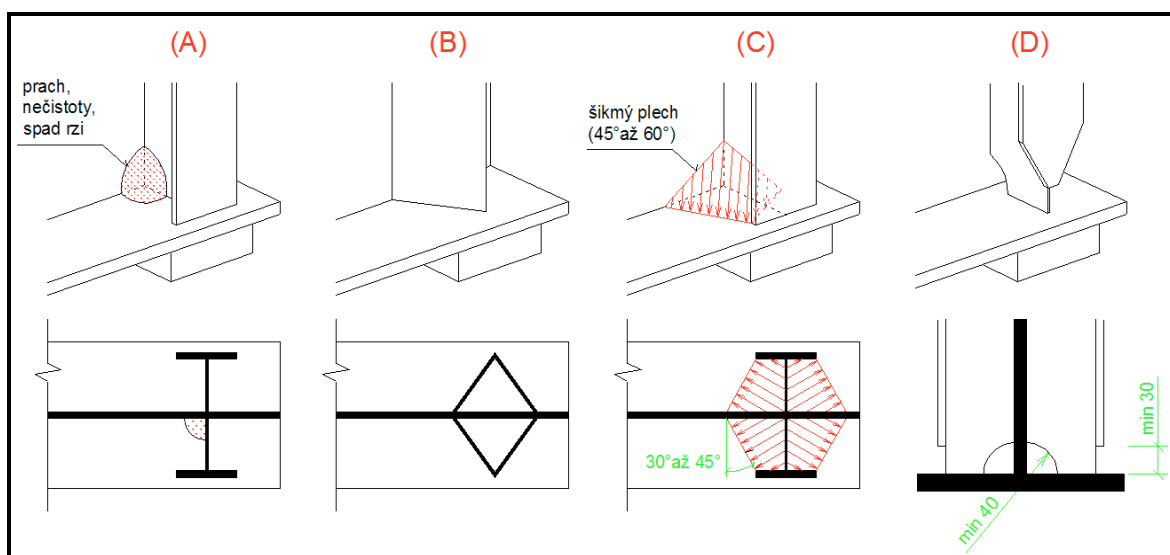
Podle předpisu TP 197 provádí (stavební i nestavební) údržbu v prvních 10 letech zhotovitel konstrukce a po dovršení této doby zajišťuje dále údržbu majitel pozemní komunikace. Údržbu je nutné provádět minimálně jednou ročně po zimním období, kdy je nutné odstranit spady, ptačí trus a vegetace s povrchu ocelové konstrukce. Zároveň se kontroluje těsnost odvodňovacích zařízení a potrubí. Doporučuje se konstrukce vystavené solickým prostředkům omýt vodou, čímž se z povrchu materiálu odstraní ulpělé soli. Zároveň musí být provedeno čištění odtoků. Při zjištění jakýchkoliv závad je nutné

v co nejkratším období provést nápravu. [2] Náklady na údržbu jsou mnohem nižší než náklady související s obnovou nátěrových systémů, které se ve většině případů musí provádět obvykle po 15 letech expozice. I konstrukce s aplikovanými nátěrovými systémy se doporučuje čistit jednou ročně od prachových částic, solí, chemikálií a dalších nečistot. Působení solících roztoků negativně ovlivňuje životnost nátěrových systémů. Čištění se provádí převážně vodou vysokotlakým mytím s využitím biologicky odbouratelným čisticím prostředkem.

## 2.5 Konstrukční zásady při navrhování mostních konstrukcí z patinujících ocelí

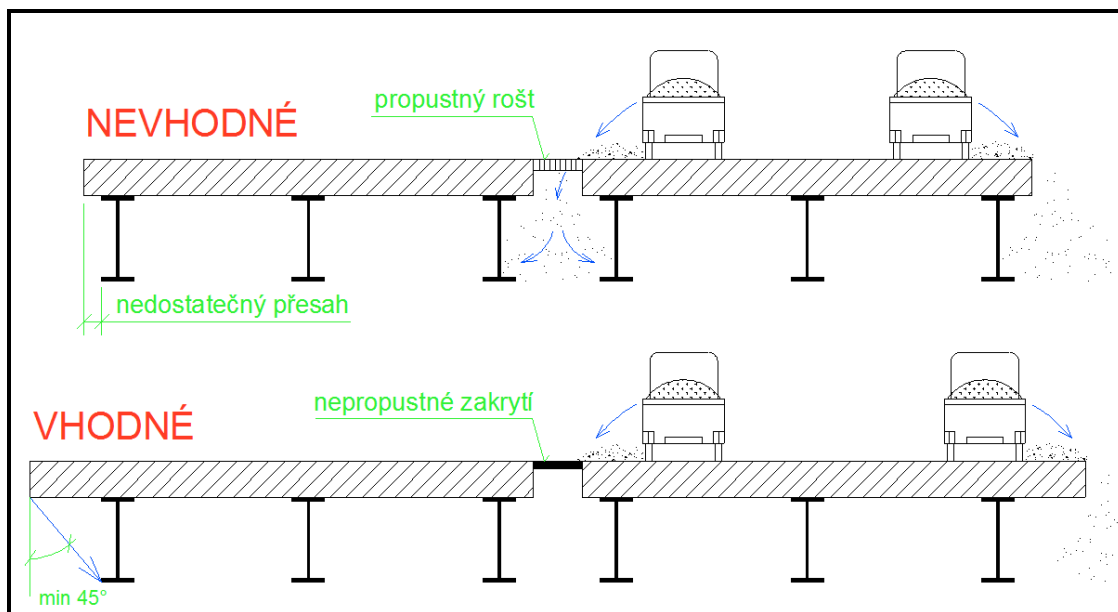
Konstrukční zásady při navrhování mostních konstrukcí z patinujících ocelí jsou prováděny podle norem pro navrhování mostních konstrukcí. V roce 2008 vyšly v platnost technické podmínky TP 197 A, které uvádí požadavky na konstrukční řešení. Směrnice pro použití ocelí se zvýšenou odolností proti atmosférické korozi obsahuje vhodná konstrukční řešení. [4]

Níže jsou uvedeny příklady jen některých konstrukčních řešení mostních konstrukcí z patinujících ocelí, které by měly vést k zamezení negativních vlivů ovlivňujících vznik stabilní patinující vrstvy. Další konstrukční úpravy jsou popsány ve výše uvedené směrnici.

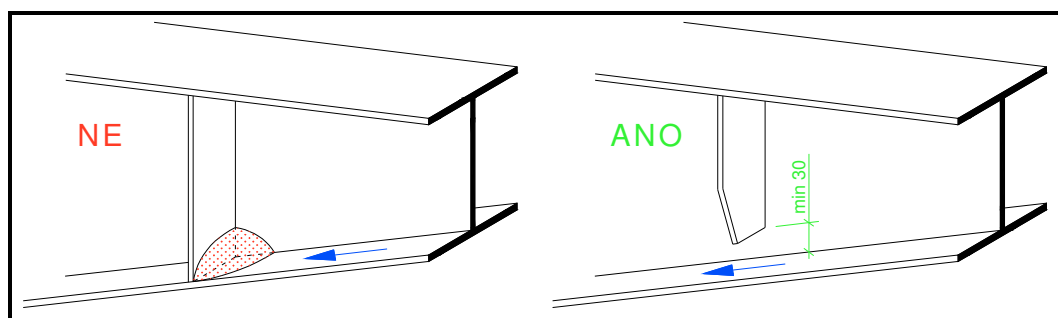


Obr. 18 Příklady detailů spojů na konstrukci [4]

Při návrhu spojů se doporučuje vyvarovat se situacím (viz obr. 18. a), kde by mohlo docházet k zadržování nečistot a volit příznivější varianty uvedené na obr. 18. b, c, d.



Obr. 19 Příklad řešení mezery mezi vozovkami [4]



Obr. 20 Příklad řešení odvodu nečistot [4]

## 2.6 Příklady použití mostních konstrukcí z patinující oceli

### 1. Mostní konstrukce s horní železobetonovou mostovkou

Toto konstrukční řešení se z hlediska tvorby patinující vrstvy ukázalo jako velice výhodné. Železobetonová deska vytváří souvislou bariéru a průnik vod k nosníkům mostní konstrukce je takřka nemožný. V případě, že dojde k poškození železobetonové mostovky, nebo jsou dilatační spoje mezi jednotlivými úseky vozovky špatně utěsněny, povrchová

voda může pronikat až k nosné konstrukci mostu viz obr. 21. Tyto případy poškození jsou ojedinělé.



**Obr. 21** Příklad špatného utěsnění mostní konstrukce s horní mostovkou [18]

## **2. Mostní konstrukce s horní ortotropní mostovkou**

Mostní konstrukce s horní ortotropní mostovkou z patinujících ocelí není vhodným řešením. Při porušení vozovky viz obr. 22, dochází k zatékání povrchové vody a narušení povrchu materiálu. Povrch materiálu je dlouhodobě vystaven vlhkosti a nedochází zde k pravidelnému zvlhčování a vysušování povrchu.



**Obr. 22** Reálné problémy při použití konstrukčního řešení s plechobetonovou deskou [18]

## **3. Příhradové mostní konstrukce**

Příhradové mostní konstrukce jsou převážně voleny pro železniční mosty. Tyto konstrukce jsou vhodné, ale jejich nevýhodou jsou kumulace spadů a nečistot v konstrukčních uzlech. Je nutné respektovat doporučení pro konstrukční řešení. Ostatní místa na konstrukci většinou nevykazují žádné problémy při vzniku stabilní vrstvy patiny.



**Obr. 23** Příhradové mostní konstrukce, vlevo: nevhodný detail, vpravo: vhodný detail [19]

#### **4. Mostní konstrukce s dřevěnou mostovkou**

Tyto mostní konstrukce se v USA používají převážně pro chodce a cyklisty. Volba tohoto typu mostní konstrukce, kdy nosná část je z patinující oceli a přechod je tvořen dřevěnými trámy, není vůbec vhodná. Dřevo je typické svou vlastností zadržovat vlhkost, a protože mezi trámy jsou mezery, tak nosná část je takřka nechráněna. Při použití mostů přes potoky je nosná část ovlivněna i zvýšenou vlhkostí a kondenzací vzdušné vlhkosti. V těchto podmínkách nedochází ke vzniku stabilní patinující vrstvy a tyto konstrukce degradují. [18]



**Obr. 24** Stav mostní konstrukce s dřevěnou mostovkou [18]



### 3. Nátěrové systémy

Protikorozní ochrana patří k základním technologiím ochrany povrchu materiálu při samotné výstavbě, montáži a údržbě konstrukcí. [20] Nátěrové systémy se řadí do kategorie protikorozní ochrany ocelových konstrukcí, které vytvářejí bariéru chránící povrch proti koroznímu prostředí, ve kterém je konstrukce exponována. Nátěrové systémy existují v kapalně, pastovité nebo práškové formě, a po vytvoření souvislého nátěrového filmu mají ochranné, dekorativní a další specifické vlastnosti. [21] V současné době existuje široký sortiment různých typů nátěrových systémů používaných pro krátkodobou i dlouhodobou protikorozní ochranu.

Povrchová úprava materiálů aplikací nátěrových systémů zaujímá cca 80 % ze všech prováděných technologií povrchových úprav. Při volbě vhodného nátěrového systému ocelových konstrukcí se vychází z normy ČSN EN ISO 12944-5 „*Nátěrové hmoty – Protikorozní ochrana ocelových konstrukcí ochrannými nátěrovými systémy – Část 5: Ochranné nátěrové systémy*“. U mostních konstrukcí se protikorozní ochrana řídí TKP 19 B (*Protikorozní ochrana ocelových mostů a konstrukcí*), který nahradil v plném rozsahu TP 84 (*Technické podmínky pro provádění protikorozní ochrany*). Pro mostní konstrukce z patinujících ocelí se návrh PKO řídí TP 197 A „*Mosty a konstrukce pozemních komunikací z patinujících ocelí*“.

#### 3.1 Aplikace nátěrových systémů na patinující oceli

Aplikace nátěrových systémů na konstrukce z patinujících ocelí zvyšuje ekonomické náklady. Převážně by se měly nátěrové systémy aplikovat lokálně na místa, kde nelze předpokládat stabilní vývoj patinující vrstvy. Jedná se převážně o ty části konstrukce, které jsou vystaveny vyšší vlhkosti, nebo kde nedochází k cyklickému zvlhčení a vysušení povrchu. Barevný odstín vrchního nátěru by měl být volen tak, aby harmonizoval s předpokládaným zbarvením vrstvy patiny. [4] Lze předpokládat, že životnost nátěrových systémů aplikovaných na patinující oceli bude vyšší než na konstrukcích z uhlíkové oceli. Při porušení nátěrového systému se patinující vrstva začne postupně vytvářet a lze tedy předpokládat, že bude chránit povrch materiálu.

Před aplikací nátěrového systému je potřebné povrch upravit na stupeň přípravy povrchu, který je definován v technickém listě aplikovaného nátěrového systému.

Nejčastěji se jedná o mechanickou úpravu povrchu otryskáváním nebo mechanickým čištěním. V případě, že se jedná o konstrukce, které byly dlouhodobě v kontaktu s korozním prostředím a na povrchu se nachází vrstva rzi s nedostatečnými ochrannými vlastnostmi, doporučuje se před aplikací nátěrových systémů povrch otryskat na stupeň přípravy povrchu Sa 2½. V případě, že povrch ocelové konstrukce je upraven pouze kartáčováním na stupeň přípravy povrchu St 2 (*důkladné ruční a mechanizované čištění*) dle ČSN EN ISO 8501-1, lze předpokládat zkrácení životnosti nátěrového systému. [4]

V roce 2006 bylo provedeno po 8 letech hodnocení nátěrových systémů aplikovaných celoplošně na stožáry vysokého napětí z patinující oceli. Aplikace nátěrových systémů byla provedena z důvodů prodloužení životnosti stožárů po cca 30-ti letech expozice (dosažení plánované životnosti stožárů). Na většině ploch stožárů byla vytvořená ochranná patina. Nátěrové systémy byly aplikovány na okartáčovaný povrch. Nátěrové systémy aplikované na patinující oceli vykazovaly nižší poškození než nátěrové systémy aplikované na běžnou konstrukční ocel. [5] Příklad je uveden na obr. 25, kde lze vidět rozdílný vzhled povrchu nátěrového systému po 8leté expozici. U konstrukčních ocelí je výrazně viditelné prorezavění a puchýřkování nátěrového systému na téměř 100 % plochy, na rozdíl od konstrukce z patinující oceli, kde ke vzniku defektů došlo jen v minimálním rozsahu.



**Obr. 25** Stav nátěrových systémů aplikovaných na:  
vlevo: ocel *Atmofix*, vpravo: konstrukční ocel [5]

V roce 2007 proběhla kontrola stožárů vysokého napětí, na které byl v roce 2002 celoplošně aplikovaný nátěrový systém. Při kontrole nebyly zjištěny zásadní poruchy a vady nátěrového systému. Problémy se objevily v místě šroubových spojů, v rozích a v místech dlouhodobé zádrže vody. Příklady poškození jsou uvedeny na obr. 26. [5] I když nebyly pozorovány znatelné poruchy nátěrového systému, lze předpokládat, že tento nátěrový systém bude plnit protikorozní ochranu maximálně 10 až 15 let. U mostních

konstrukcí je nutné dnes předpokládat životnost nátěrových systémů minimálně 20 až 25 let.



**Obr. 26** Poškození nátěrových systémů po 5 letech expozice [5]

Aplikace nátěrových systémů na mostní konstrukce z patinujících ocelí patří k velmi diskutovaným tématům. Předpokládá se, že aplikací nátěrových systémů na vnitřní část komory mostní konstrukce nebo jiná místa, kde dochází např. k zatékání povrchové vody, se konstrukce ochrání proti koroznímu napadení materiálu. V reálných podmínkách tomu tak není a je nutné těmto negativním aspektům předcházet. Příkladem může být vnitřní prostor komory mostní konstrukce „Svinovské mosty“ po 25 letech expozice. V tomto vnitřním prostoru byla stanovena korozní agresivita relativně nízká, a tomu odpovídá i korozní napadení oceli. [5, 17] Po celou dobu expozice nebyla provedena žádná údržba mostní konstrukce, došlo k poruše mostních závěrů a zatékání do komor mostů (viz obr. 27) a dlouhodobému působení zádrže vody na části konstrukce. V místě expozice ploch s nátěrovým systémem s vodou, prakticky ponoru do vody, došlo k degradaci nátěru, přičemž ostatní plochy zůstaly bez porušení, nebo lokálně dochází k odlupování. [22]





**Obr. 27** Znečištění a koroze vnitřní části komory mostní konstrukce [22]

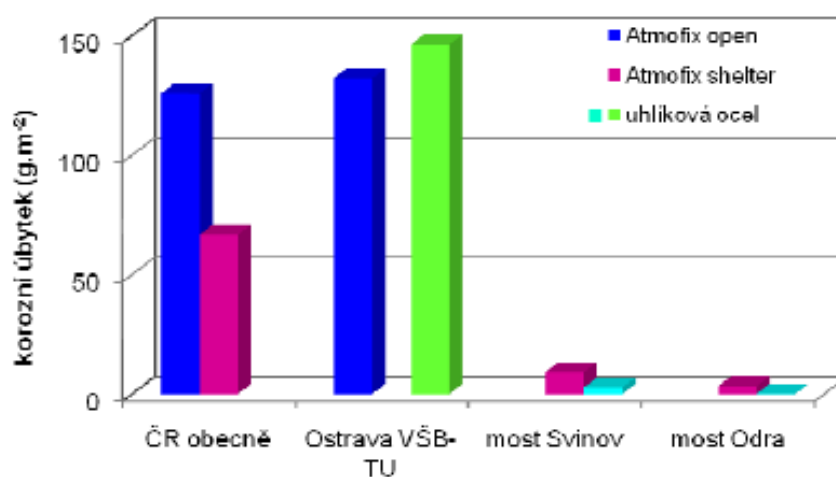
Na obr. 28 a 29 je zobrazeno místo a vzhled vzorků, které byly rok exponovány v komorových mostních konstrukcích. Na obr. 30 je porovnání výsledků expozice s vnější expozicí. Je patrný rozdíl v tvorbě stabilní patinující vrstvy, která po roční expozici byla 0,1 hodnoty ročního korozního úbytku patinující oceli Atmosfix v přístřeškových podmínkách. Toto měření dokazuje, že vlhkost v komorách mostů je nižší než vlhkost vnějšího prostředí a preventivní aplikace nátěrových systémů na vnitřní část komory není nutná.



**Obr. 28** Umístění vzorků v mostní konstrukci na dálnici D1 (D47) přes Odru, vlevo: místo umístění, vpravo: vzhled povrchu vzorků po roční expozici uhlíkové oceli (horní) a patinující oceli (dolní) [23]



**Obr. 29** Umístění vzorků v mostní konstrukci Svinov, vlevo: místo umístění, vpravo: vzhled povrchu vzorků po roční expozici uhlíkové oceli (horní) a patinující oceli (dolní) [23]



**Obr. 30** Porovnání výsledků roční expozice [23]

Aplikace nátěrových systému na konstrukce bez odstranění příčiny degradace patinující oceli není dlouhodobě účinná. Nátěrovým systémem se pouze krátkodobě oddaluje řešení samotného problému způsobující poruchu tvorby patiny. Tato doba je určena typem nátěrového systému a lze předpokládat, že se bude jednat o 1 až 3 roky. V případě, že po provedení opravy nedojde ke stabilizaci tvorby patinující vrstvy,

doporučuje se aplikace nátěrových systémů. [22] S preventivní aplikací nátěrových systémů je však nutné počítat. Vhodné je již při konstrukčním řešení uvažovat a eliminovat místa, kde by mohlo např. docházet ke kumulaci spadů, vhodnou volbou konstrukčních uzlů. U mostních konstrukcí se většinou používají třívrstvé nátěrové systémy. Všeobecně se nátěrové systémy aplikují před montáží ve dvou vrstvách a poslední vrstva se aplikuje až po montáži mostní konstrukce.

### 3.2 Rozdělení nátěrových systémů

Nátěrové hmoty lze rozdělit podle různých kritérií/parametrů. [24, 25]

#### 1. Podle obsahu pigmentů a plniv:

- **transparentní** - vytvářejí průhledný až průsvitný povlak (fermež, lak),
- **pigmentované** - vytvářejí neprůhledný povlak (emaily, barvy, tmely).

#### 2. Podle podmínek použití:

- **vnitřní** - určené pro aplikace v uzavřených prostorech,
- **venkovní** - určené pro venkovní aplikace,
- **speciální** - určené pro speciální prostředí jako je voda, zásady, atd..

#### 3. Podle pořadí aplikace jednotlivých vrstev nátěrového systému:

- **napouštěcí** - určené na savé povrchy (dřevo, zdivo, beton, atd.),
- **základní** - určené pro první nátěr nenatřeného nebo napuštěného povrchu nebo případně první vrstvu obnovovacího nátěru,
- **vyrovnávací** - určené na vyrovnání povrchu,
- **podkladové** - určené jako mezivrstva mezi základním a vrchním nátěrem,
- **vrchní** - určené jako krycí a finální vrstva nátěrového systému.

#### 4. Podle způsobu vytváření nátěrového filmu:

- **chemickým pochodem** - při tvorbě nátěrového filmu probíhá chemická reakce (oxidace, polymerace, atd.), při které se z původních nízkomolekulárních látek stávají vysokomolekulární. (fermež, nátěrová hmota, atd.),
- **fyzikálním pochodem** - tvorba nátěrového filmu probíhá odpařením rozpouštědel, přičemž nedochází k chemické změně filmotvorné složky,

- **fyzikálně i chemickým pochodem** - tvorba nátěrového filmu probíhá jak odpařením rozpouštědel, tak chemickou reakcí (epoxidy, polyuretany, vypalovací laky, UV laky, atd.).
5. *Podle způsobu zasychání a vytvrzování:*
- **na vzduchu schnoucí** - zasychají za normálních podmínek okolního prostředí,
  - **vhodné k přisoušení** - zasychají za normálních podmínek i při zvýšené teplotě,
  - **vypalovací** - vytvářejí nátěr za zvýšené teploty chemickou reakcí,
  - **vytvrzované zářením** - vytvářejí nátěr působením záření (UV, IR apod.),
  - **tavné** - povlak se vytváří roztavením a zchladnutím,
  - **maskovací** - povlaky používané pro maskovací účely (vojenská technika).
6. *Podle typu použitého rozpouštědla:*
- **vodou ředitelné** - nátěrové systémy dispergovatelné ve vodě,
  - **bezrozpouštědlové**,
  - **rozpouštědlové** - nátěrové systémy dispergovatelné ve směsi organických rozpouštědel.
7. *Podle počtu složek*
- **jednosložkové** (jedno komponentní) – nevyžadují k zasychání nebo vytvrzování další složku,
  - **dvousložkové** (dvou komponentní) – vyžadují k zasychání nebo vytvrzování další složku tzv. tvrdidlo.
8. *Podle účelu použití*
- **na ocelové konstrukce**,
  - **na dřevo**,
  - **na omítky, beton apod.**,
  - **na kůži**,
  - **elektroizolační**.

### 3.3 Složení nátěrových systémů

Při výrobě nátěrového systému je nutné především dbát na správnou volbu přísad z hlediska jejich vlastností a současně i respektovat požadavky na ochranu životního prostředí. Odhadem se využívá při výrobě asi 1000 různých komponentů lišících se svými charakteristickými vlastnostmi. Tyto komponenty mohou být ve formě kapalné, polotuhé i tuhé a samozřejmě se může jednat o jejich různé směsi.

Podle specifických funkcí můžeme jednotlivé složky nátěrových systémů rozdělit:

1. filmotvorné látky,
2. pigmenty,
3. plniva,
4. těkavé organické látky – rozpouštědla,
5. aditiva.

#### 3.3.1 Filmotvorné látky

Základním úkolem filmotvorných látek po odpaření rozpouštědel je zabezpečit soudržnost nátěrového filmu a zajištění důležitých vlastností jako je přilnavost, ohebnost, lesk, pružnost a tvrdost. V nátěrovém systému tvoří podstatnou část a jedná se především o netěkavé organické látky, které jsou rozpustné v rozpouštědlech nebo dispergovány.

Všeobecně se rozeznávají tři kategorie filmotvorných látek - *rostlinné oleje, přírodní pryskyřice a syntetické pryskyřice* [24], které se pak dále dělí.

Mezi základní typy pryskyřic patří:

- a) epoxidové pryskyřice,
- b) epoxysterové pryskyřice,
- c) polyuretanové pryskyřice,
- d) akrylátové pryskyřice,
- e) alkydové pryskyřice,
- f) silikonové pryskyřice,
- g) melaminformaldehydové a močovinoformaldehydové pryskyřice. [26]



### 3.3.2 Pigmenty

Pigment je prášková látka, přírodní nebo syntetická, která je nerozpustná v pojivech ani v rozpouštědlech a určuje výsledný barevný odstín, krycí schopnost, korozní odolnost, atd. [24, 26] Velmi důležitým parametrem je odolnost proti povětrnostním vlivům, tj. změna teploty, déšť a působení slunečního záření. Pigmenty v pojivech dispergují a vytvářejí heterogenní směs.

Krycí schopnost udává schopnost nátěrové hmoty překrýt barevný rozdíl a zakrýt celý podklad. Druh a množství použitých pigmentů ovlivňuje barevný tón a tloušťku nátěru.

Pigmenty ovlivňují svou velikostí a rovnoměrností rozmístění v nátěrové hmotě dispergační proces ve výrobě. Kvalitně provedená dispergace zlepšuje vlastnosti pigmentů a pozitivně ovlivňuje korozní odolnost nátěrových hmot. [24]

Nátěrové systémy s obsahem bariérových pigmentů jsou pro dosažení vysoké ochranné účinnosti nedostačující. [27] Proto se především do základních nátěrových systémů přidávají antikorozní pigmenty, které mají korozně-inhibiční účinnost. Korozní odolnost nátěrových systémů ovlivňuje i tvar použitých pigmentů. Lamelární pigmenty eliminují průnik UV záření k povrchu materiálu a prodlužují dráhu korozních činitelů. Při použití korozně odolných pigmentů se odolnost ještě zvyšuje. V minulosti se používaly pigmenty na bázi olova a šestimocného chromu, které patřily k antikorozním pigmentům s nejvyšší účinností. Tyto pigmenty byly zařazeny mezi toxické látky. Dnes se používají ekologicky nezávadné antikorozní pigmenty, jako jsou boritany, fosforečnany, křemičitany, atd. [28] Korozní účinnost těchto pigmentů je ale výrazně nižší.

#### Dělení pigmentů:

- **anorganické pigmenty** - titanová běloba, zinková běloba, chromová žlut', grafit, atd.,
- **organické pigmenty** - velmi vydatné, většinou mají vysokou kryvost,
- **kovové pigmenty** - jemně namleté kovy (hliník, zinek, měď). [25]

### 3.3.3 Plniva

Plniva jsou práškové přísady přidávající nátěrové hmotě další funkce a vlastnosti. Platí pro ně stejná kritéria jako pro pigmenty. Liší se nižší kryvostí a nižším indexem lomu.

V průmyslu se nejčastěji používají přírodní plniva (baryt a bělený baryt) a syntetická plniva (síran barnatý neboli blanc fixe). Dále se využívá kaolín, vápenec, slída, bentonit, atd.

Při dostatečně zvoleném množství plniv v nátěrové hmotě nedochází při zasychání k velkému objemovému smrštění. Trhlinky a rýhy v povrchu se lépe vyrovnávají a zvyšuje se přilnavost nátěrových systémů k podkladovým materiálům přidáním plniv typu slídy nebo železité slídy. [29]

### 3.3.4 Těkavé organické látky – rozpouštědla

Hlavním úkolem těkavých organických látek je rozpouštění olejů, vosků, přírodních a syntetických pryskyřic. Upravují viskozitu nátěrové hmoty tak, aby se nátěr dobře aplikoval na upravovaný povrch a po vytvrzení byl film hladký, souvislý a stejnoměrný. Rozpouštědla tvoří značnou část kapalné nátěrové hmoty cca do 50 % a při vysušování dochází k uvolnění těchto látek, které přecházejí do ovzduší.

V dnešní době jsou preferovány nátěrové hmoty vodou ředitelné s obsahem rozpouštědel do 10 %. Všeobecně se obsah těkavých organických látek ve vodouředitelných nátěrových hmotách pohybuje max. do 3 %. [26] Nátěrové systémy vysokosušinnové s obsahem sušiny nad 70 % se taktéž vyznačují nízkým obsahem těkavých organických látek. Jejich schopností je vytvářet nátěrový film o tloušťce suché vrstvy 100 až 200  $\mu\text{m}$  a více na jednu aplikovanou vrstvu nátěru. [30]

#### Rozpouštědla se dělí:

- **pravá rozpouštědla** - přímo rozpouštějí určitou filmotvornou látku,
- **nepravá rozpouštědla** – samostatně filmotvornou látku nerozpouštějí, ale jsou schopna je rozpouštět ve směsi s pravými rozpouštědly,
- **ředidla** - jsou určena k dodatečnému ředění nátěrových hmot před jejich použitím. [31]

#### Používané rozpouštědla:

- **aromatické uhlovodíky** (benzen, toluen, xylen, solventní nafta, isopropylbenzen),
- **hydroaromatické a cykloalifatické uhlovodíky** (tetralin, dekalin),
- **terpenové uhlovodíky** (pineny),

- **chlorované uhlovodíky** (methylenchlorid, chlorid uhličitý, trichloretylen, tetrachloretylen, ..),
- **nitroparafíny**,
- **alkoholy** (methylalkohol, ethylalkohol, normální propylalkohol, ...),
- **ketony** (aceton, methylethylketon, methylisobutylketon, ...),
- **estery** (mravenčan ethylnatý, octan methylnatý, octan ethylnatý, ...),
- **etery** (dimethyleter, diethyleter, dioxan, ...),
- **glykoletery** (methylglykol, ethylglykol, propylglykol, butylglykol, ...),
- **acetal** (methylal, ethylal, butylal, glycerolformal, ...). [24]

### 3.3.5 Ostatní přísady – Aditiva

Aditiva v nátěrových systémech jsou obsažena v malém množství cca do 1 % a napomáhají při vysychání nátěrů, zabraňují pění nátěrů a vzniku škráloupů, atd. Pomocí těchto látek se zvyšuje životnost nátěrového filmu, který lépe odolává povětrnostním vlivům a napadení mikroorganismů.

Aditiva lze rozdělit do následujících skupin:

- pomocné látky (sušidla),
- zahušťovadla (převážně u vodou ředitelných nátěrových hmot),
- iniciátory, katalyzátory, urychlovače a inhibitory. [26]

### 3.4 Podmínky pro aplikaci nátěrových hmot

Kvalitní protikorozi ochranou materiálu nátěrovými systémy je možné dosáhnout v případě, že jsou splněny určité podmínky týkající se přípravy povrchu a tedy jeho stavu, teploty povrchu a atmosférické podmínky v průběhu aplikace a vytvrzování nátěrových systémů.

Klimatické podmínky jsou velice důležitý faktor, protože nátěrové systémy mohou být z větší části aplikovány pouze za příznivých podmínek.



Aplikace by se neměla provádět:

- v případě, je-li teplota nižší než minimální povolená teplota pro aplikaci nátěrového systému a jeho vytvrzování,
- v případě, že je mlha nebo opar a za deště či sněžení,
- v případě, je-li povrch mokrý, došlo-li ke kondenzaci kapek vody na povrchu, a pokud hrozí nebezpečí vzniku kondenzace v průběhu vytvrzování. [54]

Je nutné si uvědomit, že v nočních hodinách klesá teplota ovzduší a zároveň se snižuje teplota povrchu materiálu. V průběhu dne se teplota ovzduší zvyšuje tak jako teplota povrchu materiálu. Tyto teploty mohou být rozdílné a v těchto případech může dojít ke kondenzaci vzdušné vlhkosti na povrchu materiálu.

Existují i nátěrové systémy, které lze aplikovat za vyšší vzdušné vlhkosti, ale nesmí dojít ke kondenzaci na natíraný povrch. Je tedy nutné zjistit před aplikací rosný bod.

### 3.4.1 Rosný bod

Jedná se o teplotu, při které je dosažena 100 % relativní vlhkost vzduchu (poměr mezi aktuálním množstvím vodních par ve vzduchu a maximálním nasycením vodními parami, za stejného tlaku i teploty), neboli je vzduch plně nasycen vodními parami. Dojde-li k poklesu teploty pod teplotu rosného bodu, nastane kondenzace vzdušné vlhkosti.

Digitální teploměry dnes měří nejen aktuální teplotu, ale také dokážou určit hodnotu rosného bodu. Existují rovněž tabulky, kde stačí pro určení rosného bodu znát relativní vlhkost a aktuální teplotu.

Doporučuje se aplikovat nátěrové systémy vždy na povrchy, které mají teplotu povrchu o 3 °C vyšší než je teplota rosného bodu. Ne všechny nátěrové systémy jsou totiž tolerantní k vlhkosti na povrchu.

### 3.4.2 Extremní podmínky

Obvykle by se neměly nátěrové systémy aplikovat při teplotě nižší než 5 °C a vyšší než 40 °C. Např. u epoxidových nátěrových systémů se pod teplotou 5 °C zpomaluje proces vytvrzování. Může dojít i k úplnému zastavení vytvrzování. Existují i nátěry jako

jsou chlórkaučukové nátěrové systémy, které mohou být aplikované i při teplotě 0 °C, povrch však nesmí být znečištěný, nebo se na něm nesmí nacházet sníh či led.

Při teplotě nad 40 °C se doba schnutí a vytvrzování výrazně zkracuje. Ty jsou způsobeny rychlým odparem rozpouštědel z kapek nátěrového systému při přenosu z trysky k podkladu. [54]

Suchým stříkům lze předejít:

1. dodržení minimální možné vzdálenosti pistole od povrchu a provádějte aplikaci systému pod úhlem 90 °,
2. zředěním nátěrového systému maximálně 5 % ředidla. [54]

Při aplikaci nátěrových systémů za vyšších teplot je nutné dbát na správnou volbu aplikační techniky. V opačném případě lze předpokládat, že v povlaku vzniknou vady typu kráterků, bublin, prázdných míst, atd. Existují nátěrové systémy, které lze aplikovat i při vyšší teplotě než 40 °C.

### 3.5 Nečistoty ovlivňující kvalitu nátěrového systému

Na povrchu se vyskytují nečistoty, které ovlivňují přilnavost a životnost nátěrových systémů. V některých případech může dojít i k chemickému ovlivnění povlaku a jeho porušení.

Nečistoty vyskytující se na povrchu se dělí:

- **ulpělé** - nečistoty, které jsou s povrchem vázány adhezními silami. Jedná se především o mastnoty a v nich zachycené prachové částice, brusivo, leštící pasty a kovové třísky po obrábění. Pro čištění se využívá technologie odmašťování.
- **vlastní** - nečistoty s povrchem vázané chemicky (chemisorpcí). Jde o nečistoty typu okuje a korozní zplodiny, které se z povrchu odstraňují mechanickým čištěním nebo mořením.

### **3.5.1 Mastnota**

Mastnoty na povrchu zpomalují zasychání nátěrových systémů a brání dokonalému zakotvení, čím se snižuje přilnavost. [32] Nátěry jsou nestabilní a životnost těchto povlaků je velice nízká. Převážně u nátěrových systémů vodou ředitelných dochází na zamaštěném povrchu materiálu k nezacelení podkladového materiálu.

K zjištění, zda je podkladový materiál zamaštěn, lze využít indikační inkousty pro měření povrchového napětí, viz kap. 3.6.2.1.

Jednoduchým ukazatelem stupně zamaštění povrchu je voda. Jestliže je povrch zbaven mastnot, voda se rozlévá a tvoří souvislý film. V opačném případě se voda shlukuje do ostrůvků či kapiček.

### **3.5.2 Vlhkost**

Aplikace nátěrových systémů na vlhký povrch přináší velké riziko velmi nízké přilnavosti nátěrového systému k podkladu. V některých případech je povrch při zhlédnutí prostým okem viditelně suchý, vlhkost však může být kumulována v pórech. Před aplikací je výhodné nechat materiál dostatečně dlouho dobu vysušit na vzduchu nebo v sušárně.

### **3.5.3 Anorganické sloučeniny rozpustné ve vodě**

Tyto nečistoty ulpívají na povrchu při nedostatečném oplachu po předchozí povrchové úpravě, např. po použití odrezovačů, které se používají pro čištění povrchu materiálu od korozních zplodin. V dnešní době existují bezoplachové odrezovače, ale při neprovedení oplachu, může po aplikaci nátěrového systému nastat nebezpečí popraskání při expozici v korozním prostředí nebo při zvýšené vlhkosti.

Anorganické sloučeniny mohou reagovat kyselě, alkalicky nebo neutrálně. Kyselé zbytky zůstávají na povrchu při špatném oplachu po moření nebo odrezování, alkalické zbytky po odmašťování v alkalických roztocích a neutrální zbytky při pasivaci nebo neutralizaci po některých chemických úpravách. Alkalické zbytky se na povrch dostávají ve formě průmyslového prachu nebo v kondenzované vlhkosti. [33]



*Obr. 31 Vznik puchýřů na nátěru exponovaném ve vlhkém prostředí, který byl nanesen na nedokonale omytý povrch po aplikaci odrezovače [26]*

### 3.5.4 Korozní zplodiny

Jestliže je ocelový povrch vystaven koroznímu prostředí bez povrchové ochrany, dochází ke vzniku oxidických vrstev. Povrchy o větší drsnosti jsou ke vzniku koroze náchylnější než povrchy leštěné. Je to zapříčiněno mikrogeometrií leštěného povrchu (velmi nízká drsnost a vysoká čistota povrchu), který méně zachycuje nečistoty a vlhkost.

Korozní vrstva vzniklá na povrchu materiálu je pórovitá a křehká. Při aplikaci nátěrového systému dochází ke koheznímu lomu v podkladovém materiálu.

Korozní zplodiny se odstraňují z povrchu:

- **mechanicky** - otryskáváním, kartáčováním apod.
- **chemicky** - mořením, odrezováním [33]

### 3.5.5 Okuje

Okuje mohou působit jako krátkodobá ochrana materiálu proti koroznímu napadení po dobu skladování v případě, že vrstva okují není fyzikálními či chemickými vlivy porušena.

Okuje jsou oproti základnímu materiálu křehké, a proto jsou méně odolné proti mechanickému namáhání nebo tepelným změnám. Může také docházet ke vzniku

korozního článku mezi okují a základním materiálem, což může vést ke vzniku puchýřů v nátěrovém systému. Před aplikací nátěrových systémů je nutné okuje odstranit.

### **3.5.6 Zbytky nátěrů**

Původní nátěrové systémy na ocelových konstrukcích jsou převážně před opravou již porušené. Aplikace nových nátěrových systémů na tyto podkladové materiály může mít nevhodný účinek na vzájemnou přilnavost nátěrových systémů, protože starý nátěr nemůže zajistit dobrý kotvící profil jako základní materiál. Je nutné také předpokládat, že starý nátěr už nemá dobrou přilnavost.

Problém může nastat i v případě, že nelze určit typ použitého starého nátěrového systému. V těchto případech by mohlo dojít k znehodnocení starého nátěrového systému a vzniku trhlin, čímž by došlo k porušení kompaktnosti a odhalení povrchu. Proto je vhodné z povrchu zbylé nátěrové systémy odstranit.

## **3.6 Předúprava materiálů**

Předúprava materiálu úzce souvisí s aplikací nátěrových systémů, především z důvodu zajištění dokonale čistého povrchu, který je zbaven nečistot typu mastnot, rzi a prachu. Klade se velký důraz na kvalitu provedení předúpravy povrchu především z důvodu zajištění dobré korozní odolnosti, životnosti a přilnavosti nátěrových systémů.

Existují nátěrové systémy, které nevyžadují vysokou předúpravu povrchu. Norma ČSN EN ISO 8501-1 definuje stupně přípravy povrchu otryskáním, ručním a mechanickým čištěním. Norma obsahuje také obrázkové standardy, které slouží k vizuálnímu přirovnání.

### **3.6.1 Mechanické předúpravy povrchu**

Účelem mechanických předúprav povrchu je snaha dosáhnout požadované mikrogeometrie povrchu a odstranění nežádoucích nečistot (korozi, zbytky nátěrů, atd.), které by negativně ovlivnily aplikovanou povrchovou ochranu.



Mechanické předúpravy povrchu částí mostních konstrukcí se provádí otryskáváním, broušením a kartáčováním.

Tyto předúpravy se provádějí z těchto následujících důvodů:

1. odstranění nežádoucích korozních produktů, oxidačních vrstev (okují), mechanického znečištění vzniklého při předchozích technologických operacích atd.,
2. vytvoření podmínek pro dobré zakotvení povlaku,
3. zvýšení korozní odolnosti,
4. zvýšení mechanických vlastností,
5. vzhledové požadavky. [33]

### 3.6.1.1 Otryskávání

Otryskávání je technologický proces čištění povrchu pomocí abraziva, které je vrháno z tryskácké pistole proti povrchu základního materiálu. Tento typ předúpravy povrchu se volí před aplikací nátěrových systémů velice často. Poskytuje dokonalé očištění povrchu i jeho vhodnou mikrogeometrii, kterou ovlivňuje tvar zrna, tvrdost, zrnitost, hmotnost a samotný druh tryskáckého materiálu. Otryskávání se provádí v souladu s normou ČSN EN ISO 8504-2 *„Příprava ocelových podkladů před nanesením nátěrových hmot a obdobných výrobků – Metody přípravy povrchu – Část 2: Otryskávání.“*

Hodnocení přípravy povrchu po otryskávání se řídí normou ČSN EN ISO 8501-1 *„Příprava ocelových povrchů před nanesením nátěrových hmot a obdobných výrobků - Vizuální vyhodnocení čistoty povrchu - Část 1: Stupně zarezavění a stupně přípravy ocelového podkladu bez povlaku a ocelového podkladu po úplném odstranění předchozích povlaků“*, která uvádí parametr Sa, jež definuje stupeň přípravy povrchu. Všeobecně se ocelové povrchy určené pro aplikaci nátěrových systémů otryskávají standardně na Sa 2 ½ - *velmi důkladné otryskání*.

V případě, že drsnost povrchu je velká, aplikovaný nátěrový systém nemusí dokonale zakrýt vrcholky nerovnosti, nebo je nad vrcholky malá tloušťka nátěrového systému. Tento problém většinou způsobuje zkrácení doby ochranné schopnosti nátěrového systému a brzký vznik koroze v místech s malou tloušťkou povlaku.

Tab. 6 Stupně otryskání [62]

Označení	Slovní charakteristika povrchu
<b>Sa 1</b> <i>Lehké otryskání</i>	Při prohlížení bez zvětšení musí být povrch prostý bez viditelných olejů, mastnoty a nečistot, málo přilnavých okují, rzi, nátěrů a cizích látek
<b>Sa 2</b> <i>Důkladné otryskání</i>	Při prohlížení bez zvětšení musí být povrch prostý bez viditelných olejů, mastnoty a nečistot, bez většiny okují, rzi, nátěrů a cizích látek. Všechny zbylé nečistoty musí být pevně přilnavé.
<b>Sa 2 ½</b> <i>Velmi důkladné otryskání</i>	Při prohlížení bez zvětšení musí být povrch prostý bez viditelných olejů, mastnoty a nečistot, okují, rzi, nátěrů a cizích látek. Všechny zbylé stopy nečistot musí vykazovat pouze lehké zabarvení ve formě skvrn nebo pruhů.
<b>Sa 3</b> <i>Otryskání až na vizuálně čistý ocelový povrch</i>	Při prohlížení bez zvětšení musí být povrch prostý bez viditelných olejů, mastnoty a nečistot, okují, rzi, nátěrů a cizích látek. Povrch musí mít jednotný kovový vzhled.

Při otryskávání kulatým abrazivem většinou dochází k zatlačení nečistoty do povrchu materiálu. Kulatá zrna na povrchu vytvářejí důlky a povrch zpevňují. Povrch je hladký a není moc vhodný pro zakotvení nátěrového systému. Ostrohranné abraziva odstraňují z povrchu nejen oxidické vrstvy, ale také samotný kov a do povrchu materiálu se zasekávají a způsobují tímto sekundární znečištění. [34]

Tryskací médium se volí podle upravovaného povrchu, stupně znečištění, materiálu a tloušťky stěn předmětu. [33]

#### Používané otryskávací materiály:

- **ostrohranné** – litinová drť, karbid křemíku, umělý korund, sekaný drát, speciální materiály
- **kulaté** – ocelové broky, balotina. [35]

V minulosti hojně používaný křemičitý písek se dnes běžně nepoužívá. Toto médium se využívá většinou pro otryskávání za mokra, tj. jedná se o otryskávací směs vody a křemičitého písku. Výhodou je eliminace nebezpečí zdravotních problémů vyvolané prachem a zároveň dochází k velmi dobrému odstranění korozních produktů i z důlků,

čímž se zajišťuje lepší přilnavost následné aplikace protikorozní ochrany (PKO). Pro zabránění vzniku bleskové koroze se do vody přidávají inhibitory koroze, nebo se musí povrch po otryskávání omýt vodou obsahující inhibitor koroze.

Po otryskání dochází k narušení povrchových vrstev a materiál se stává reaktivní. Při kontaktu s okolním prostředím se na povrchu vytváří oxidická vrstva - blesková koroze. Všeobecně platí, že po otryskání je nutné v co nejkratším čase aplikovat nátěrový systém. Nátěrový systém by měl být aplikován max. do 8 hodin. Tento čas závisí na teplotě povrchu a vlhkosti prostředí.

Blesková koroze dle normy ČSN EN ISO 8501-4 je specifikována třemi stupni L, M a H s popisem jednotlivých stupňů.

**Tab. 7** Popis vzhledu povrchu tří stupňů bleskové koroze [63]

Označení	Slovní charakteristika povrchu
<b>L</b> <i>Lehký stupeň bleskové koroze</i>	Při prohlížení bez zvětšení se na povrchu vyskytuje malé množství žlutohnědé rzi, přes kterou je možné vidět podklad. Koroze (pozorovaná jako barevná změna) může být rozložena rovnoměrně, nebo se může vyskytovat ve formě skvrn, ale bude přilnavá a těžko odstranitelná jemným otíráním tkaninou.
<b>M</b> <i>Střední stupeň bleskové koroze</i>	Při prohlížení bez zvětšení se na povrchu vyskytuje vrstva žlutohnědé rzi, která zakryje původní ocelový povrch. Vrstva rzi může být rozložena rovnoměrně, nebo se může vyskytovat ve formě skvrn, ale bude dobře přilnavá a bude lehce ulpívat na tkanině, kterou se bude povrch jemně otírat.
<b>H</b> <i>Vysoký stupeň bleskové koroze</i>	Při prohlížení bez zvětšení se na povrchu vyskytuje vrstva žlutočervené/hnědé rzi, která zakryje původní ocelový povrch a je nepřilnavá. Vrstva rzi může být rozložena rovnoměrně, nebo se může vyskytovat ve formě skvrn a bude snadno ulpívat na tkanině, kterou se bude povrch jemně otírat.

Při důlkovém korozním napadení je nutné volit větší intenzitu otryskávání, aby došlo k odstranění všech korozních produktů. V opačném případě lze předpokládat, že při aplikaci nátěrových systémů na takto připravené povrchy dojde v krátkodobém intervalu ke vzniku puchýřů. Toto poškození je většinou iniciováno nejen korozními produkty, ale hlavně depozicí solí, které jsou ve vrstvách zachyceny.

Povrch je možné předupravit i vysokotlakou vodou bez použití abraziva, přičemž nedochází k deformaci povrchové vrstvy ale jen k vymývání korozních produktů. K zamezení vzniku korozních produktů v průběhu otryskávání se do vody přidávají chemické inhibitory. Tyto inhibitory mohou po vysušení na povrchu zanechat tenkou vrstvu, která může mít negativní vliv na následně aplikovanou PKO. Při použití chemických inhibitorů se doporučuje povrch před aplikací PKO omýt a následovně v krátkém intervalu provést aplikaci PKO. V případě, že povrch je zamaštěn, přidává se do vody detergent a je nutné provést po otryskání oplach čistou vodou.

Tlak vody se při otryskávání nastavuje podle znečištění povrchu, které má být odstraněno (rez, nepřilnuté nátěry, exponované nátěry, atd.). [65]

#### Otryskávání vodou se dělí:

- vysokotlaké otryskávání vodou (70 MPa až 200 MPa),
- ultravysokotlaké otryskávání vodou (více než 200 MPa). [63]

Hodnocení stupně přípravy povrchu po vysokotlakém otryskávání vodou je specifikováno normou ČSN EN ISO 8501-4 „*Příprava ocelových povrchů před nanášením nátěrových hmot a obdobných výrobků – Vizuální hodnocení čistoty povrchu – Část 4: Výchozí stav povrchu, stupně přípravy a bleskové koroze po vysokotlakém tryskání vodou*“, která definuje stupeň přípravy povrchu Wa po očištění.

**Tab. 8** Stupně přípravy povrchu po vysokotlakém otryskání vodou [63]

Označení	Slovní charakteristika povrchu
<b>Wa 1</b> <i>Lehké otryskání paprskem o vysokém tlaku</i>	Při prohlížení bez zvětšení musí být povrch bez viditelných stop oleje a mastnot, nepřilnavých nebo poškozených nátěrů, nepřilnavé rzi a ostatních cizích látek. Všechny zbytky znečištění musí být rozptýleny náhodně a pevně přilnavé.
<b>Wa 2</b> <i>Důkladné otryskání paprskem o vysokém tlaku</i>	Při prohlížení bez zvětšení musí být povrch prostý bez viditelných stop oleje, mastnot, nečistot a většiny rzi, předchozích nátěrů a ostatních cizích látek. Všechny zbylé znečištění musí být rozptýleny náhodně a mohou obsahovat pevně přilnavé povlaky, pevně přilnavé cizí látky a stíny po dříve se vyskytující rzi.

Označení	Slovní charakteristika povrchu
<b>Wa 2 ½</b> <i>Velmi důkladné otryskání paprskem o vysokém tlaku</i>	Při prohlížení bez zvětšení musí být povrch prostý bez všech viditelných stop koroze, oleje, mastnot, nečistot, předchozích nátěrů a kromě lehkých stop, bez všech cizích látek. Pokud byl původní nátěr většiny neporušen, může povrch vykazovat barevné změny. Šedé nebo hnědočerné zbarvení pozorované v místech důlkové koroze nebo zkorodované oceli nemůže být dalším otryskáním vodou odstraněn.

Tato technologie je dnes velice často zaváděna do výroby, kde je snaha o odstranění korozních zplodin, nátěrů, strusky, atd. Oproti klasickému suchému otryskávání nedochází při vysokotlakém otryskávání k úběru materiálu, neboť se nepoužívá žádný tryskační prostředek, jedná se o ekologický proces (voda je v uzavřeném oběhu), není nutné čistit povrch po otryskání od prachu, atd.

### 3.6.1.2 Broušení

Při broušení se z povrchu materiálu odstraňují oxidické vrstvy až na čistý kov a dochází k odstranění nerovnosti povrchu. Rozlišuje se ruční a strojní broušení.

### 3.6.1.3 Kartáčování

Při tomto technologickém procesu se z povrchu základního materiálu odstraňuje rez a další ulpělé nečistoty. Proces probíhá ručně nebo mechanicky, kdy dráty kartáče pronikají do prohlubenin v povrchu a prakticky nedochází k odstraňování základního materiálu. [36] Kartáčováním však nedochází k odstranění okují.

V případě, že tloušťka korozní vrstvy je velmi silná nebo tvrdá, tato předúprava se nedoporučuje, protože v tomto případě kartáče povrch vyhlazují. K této situaci rovněž dochází, pokud je obvodová rychlost mechanických kartáčů nevhodně volena. Běžně se volí obvodová rychlost v rozmezí 2000 až 2500 ot.min<sup>-1</sup>.

Povrch po kartáčování není nikdy bez rzi a jiných nečistot, což může snížit životnost nátěrových systémů. [32]

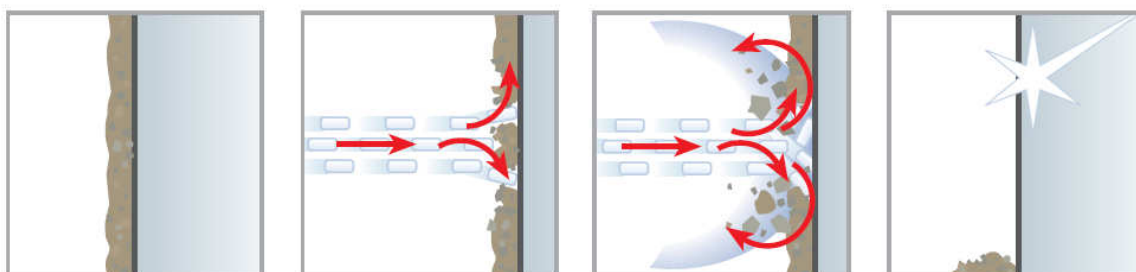


### 3.6.1.4 Otryskávání suchým ledem

Zvyšující se nároky na ekologii s sebou přináší i nové technologie, které svými funkcemi a schopnostmi odstraňovat nečistoty z povrchu plně nahradí dosud známé a používané mechanické předúpravy povrchu.

Otryskávání pomocí suchého ledu je ekologické a nedochází k úbytku základního materiálu, ale jen k odstranění korozní vrstvy. Pro otryskávání se používají pelety suchého ledu, které se vyrábí z oxidu uhličitého.

CO<sub>2</sub> se nejčastěji získává z odpadních plynů při chemické výrobě. Skladuje se v plynné fázi a při snížení tlaku a teploty se převede do pevného stavu. Pomocí granulátoru se poté vytvoří požadované pelety o správné velikosti a tvaru. [37]



**Obr. 32** Schéma procesu otryskávání suchým ledem [38]

Pelety o teplotě - 78 °C jsou tryskány tlakem vzduchu o teplotě - 25 °C proti povrchu materiálu. Vlivem rozdílu teplot dochází ke zkřehnutí nečistot a při mnohonásobném zvětšení objemu (až 800 x) způsobené změnou skupenství ke vzniku pnutí a k narušení soudržnosti. Pelety po dopadu na povrch sublimují a přecházejí do plynného skupenství, a proto se snižují náklady na odstranění a recyklaci tryskacího média. Povrch materiálu je po otryskávání suchým ledem suchý a nezanechává ani stopy vlhkosti. [37]

### 3.6.2 Chemické předúpravy povrchu

Chemickými předúpravami se z povrchu materiálu před aplikací nátěrových hmot odstraňují nečistoty typu mastnot, olejů, prachových částic, korozních zplodin, atd. Do této kategorie předúprav se řadí technologie odmašťování a moření. Tyto předúpravy se provádějí především před aplikací povrchových úprav typu galvanických povlaků,

nátěrových systémů na výrobky malých rozměrů ve výrobních linkách a difuzních povlaků.

### 3.6.2.1 Odmašťování

Odmašťováním se z povrchu materiálů odstraňují nečistoty typu mastnot, olejů, tuků a v některých případech i soli rozpustné ve vodě. Mastnoty vytvářejí na povrchu tenký film, který brání k zakotvení nátěrového systému k podkladu. Tímto ovlivňují protikorozi ochranu, protože aplikovaný nátěrový systém má nízkou přilnavost, snižuje se korozní odolnost, atd.

Ve výrobě nastává nebezpečí zamaštění výrobků při manipulaci (mastná lana, zamaštěné rukavice dělníků, atd). Mastný povrch musí být před otryskáváním očištěn, aby nedošlo k zatryskání mastnot do povrchové vrstvy. Místní znečištění se odstraňuje technickým benzínem a plošné zamaštění se omyje vysokotlakou vodou (s koncentrovaným odmašťovacím prostředkem) o tlaku 25 až 30 MPa o teplotě 20 °C. [39]

Existují tyto druhy odmašťování:

- odmašťování alkalické,
- odmašťování organické (z důvodu VOC látek se ustupuje od tohoto typu odmašťování),
- odmašťování elektrolytické,
- odmašťování v neutrálních roztocích,
- odmašťování emulzní,
- odmašťování vysokotlaké. [34]

Při odmašťování dílů mostní konstrukce se nejčastěji provádí místní odmaštění, nebo při plošném zamaštění lze využít technologie vysokotlakého odmašťování. Ostatní druhy odmašťování se používají při dílčích operacích.

#### ***Vysokotlaké kapalinné odmašťování***

Principem technologie vysokotlakého čištění vodou dle ČSN EN ISO 8501-4 je působení proudu vody o vysokém tlaku s přidáním inhibitoru koroze proti povrchu materiálu.

Tlak působící čistící suspenze může dosahovat až k 70 MPa. V případě, že se čistící roztok zahřeje, zvyšuje se celkový účinek.

### ***Zkouška odmaštění povrchu***

#### ***a) bílou křídou***

Bílou křídou se vede čára po povrchu materiálu přes místa viditelně zamaštěná. V případě, že křída neulpí na povrchu, jedná se o povrch zamaštěný a je nutné tento povrch očistit tzn. odmastit. [39]

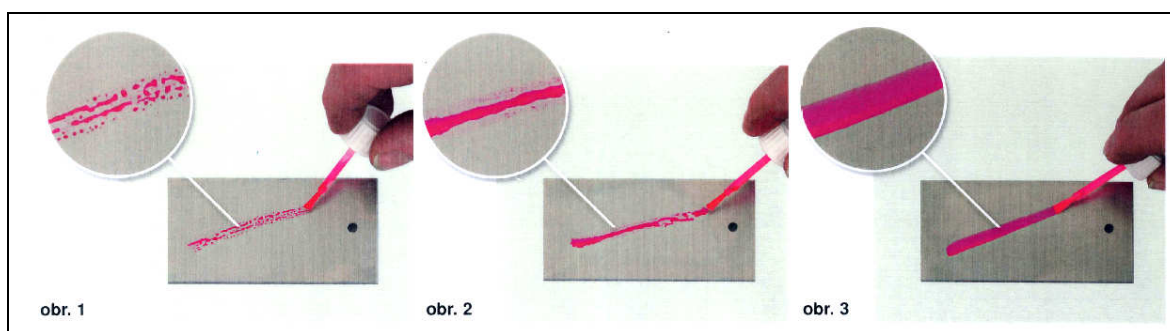
#### ***b) hydrokarbonový test***

Bavlněným hadříkem s isopropanolem se dokonale potře povrch materiálu o ploše 1 m<sup>2</sup>. Tento hadřík se poté pořádně vymačká do kádinky a přidá se destilovaná voda. Množství vody je závislé na objemu vymačkané látky. Přidává se 2 až 3 krát více destilované vody. Tento roztok se nechá 20 minut odstát. V případě, že je tento roztok zakalen je nutné povrch materiálu odmastit. V opačném případě je možné aplikovat nátěrový systém. [39]

#### ***c) inkousty pro zjištění povrchového napětí (viz kap. 3.5.1)***

Před zkouškou je nejdůležitější volba správného inkoustu. Pro nátěrové systémy je vhodné povrchové napětí 38 až 40 mN/m, a proto se pro zkoušku využívají inkousty s hodnotou povrchového napětí 38 mN/m, které indikují maximální množství mastných nečistot na povrchu přibližně 0,01 g/m<sup>2</sup>. Pomocí štětečků namočeného v inkoustu se vytvoří čára cca 50 až 70 mm. V případě, že dochází k vytváření kapek, nebo se inkoust po povrchu rozpíjí, je testovaný povrch nutné odmastit.

Nátěrové systémy vytvrzované UV zářením vyžadují vyšší čistotu povrchu.



***Obr. 33*** Postup zjištění zamaštění povrchu, (obr. 1,2 zamaštěný povrch, obr. 3 vhodný povrch pro aplikaci PKO) [40]

### **3.6.2.2 Moření**

Moření je technologický proces, při kterém se z povrchu materiálu odstraňují oxidické vrstvy chemickou cestou. Druh použité kyseliny závisí na typu mořeného materiálu, dispozičnímu provozu, atd. Všeobecně se využívá kyselina chlorovodíková ( $\text{HCl}$ ), kyselina sírová ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ), kyselina fosforečná ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ), kyselina dusičná ( $\text{HNO}_3$ ) a kyselina fluorovodíková ( $\text{HF}$ ).

Nejčastěji se využívá kyselina sírová ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ), která se vyznačuje nižší cenou, malou spotřebou a především nízkou exhalací do prostředí. [41] Při ponoření předmětu do lázně dochází k pronikání kyseliny póry oxidické vrstvy k povrchu materiálu. Kyselina zvětší částí reaguje s oxidem železitým ( $\text{FeO}$ ), který se rozpouští a za současného uvolňování vodíku ze základního materiálu odpadávají korozní produkty a klesají na dno mořící lázně.

Moření v kyselině chlorovodíkové se nejčastěji používá před aplikací povlaků smaltových, galvanických, atd. Technologický proces probíhá podobně jako při moření v kyselině sírové ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ). Rozdíl je však v nižší teplotě mořící lázně, větší spotřebě a vyšší exhalací do prostředí. [41]

Při výrobě mostních konstrukcí se tato technologie přípravy povrchu využívá pouze jako dílčí operace před žárovým nanášením zinku, kde se nejčastěji volí pro moření kyselina chlorovodíková. [39]

### **3.6.2.3 Odrezování**

Jedná se o technologický proces odstraňování korozních zplodin z povrchu materiálu pomocí tzv. odrezovačů obsahujících kyseliny. Nejčastěji se používají odrezovače s obsahem kyseliny fosforečné ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ), které navíc obsahují inhibitory koroze, smáčedla a odmašťovadla.

Při čištění mostních konstrukcí před aplikací nátěrových systémů se tato předúprava povrchu nedoporučuje, protože hrozí nebezpečí zbytků kyselin ulpělých na povrchu. Mohlo by dojít k ovlivnění protikorozních vlastností nátěrových systémů. [39]

### **3.7 Aplikace nátěrových systémů**

Aplikace nátěrových systémů patří k poslední technologické operaci před samotným vysušením a vytvrzením. Patří tedy také k důležité části technologického procesu a nesmí být zanedbávána.

Existuje mnoho technologií aplikace nátěrových systémů, ale je nutné si uvědomit, že ne všechny aplikační technologie jsou použitelné pro mostní konstrukce. V případě, že se jedná o části nové mostní konstrukce, volí se aplikace stříkáním a drobné opravy se provádí štětcem. Na mostní konstrukce, které jsou již exponované a je nutná oprava starého nátěrového systému, se nová vrstva nátěrového systému aplikuje štětcem, válečkem a v některých případech i stříkáním.

Při aplikaci, zasychání a vytvrzování nátěrových systémů nesmí za žádných okolností dojít k ovlivnění povlaku vnějšími vlivy. Jedná se především o prašnost, kterou mohou navyšovat stavební práce, otryskávací práce, svařovací práce, apod.

#### **3.7.1 Aplikace štětcem**

Technologie aplikace štětcem je velmi efektivní metoda z hlediska ztráty nátěrové hmoty při aplikaci, ale z hlediska doby aplikace je málo efektivní (max. výkon 10 až 15 m<sup>2</sup>.h<sup>-1</sup>). Tato technologie spočívá v aplikaci nátěrového systému štětcem (z přírodních nebo syntetických vláken) na předem očištěný povrch, přičemž dojde k dobrému zapracování nátěrového systému do pórů, čímž se zajistí dobrá soudržnost s podkladovým materiálem.

Převážně se tato technologie používá při lokálních opravách, ale také tam, kde nemůže být použita aplikace stříkáním z důvodu možných suchých nástřiků. V případě, že jsou aplikovány dvě vrstvy např. chlórkaučukové nátěrové hmoty, je nutné dbát zvýšené opatrnosti při aplikaci druhé vrstvy, protože rozpouštědla mohou první vrstvu již aplikovaného nátěrového systému naleptat, a tím ovlivnit kvalitu povrchové úpravy.



### **3.7.2 Aplikace válečkem**

Tato technologie je obdobná technologii aplikace nátěrových systémů pomocí štětce. Výhodou této technologie je urychlení aplikace asi 3 až 5 x oproti aplikaci štětcem a je výhodné tento druh aplikace volit na větší plochy.

### **3.7.3 Aplikace stříkáním**

Aplikace nátěrových hmot stříkáním je velmi produktivní technologie povrchové úpravy materiálu, při které je nutné počítat s postříkem a ztrátou nátěrového systému, která je závislá na tvaru ošetřované konstrukce.




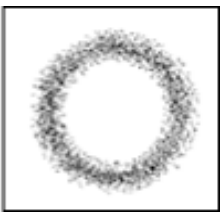

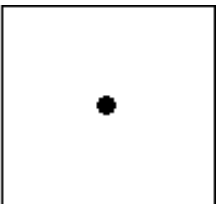


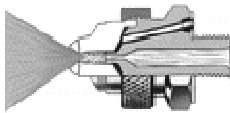

#### **3.7.3.1 Nanášení nátěrových systémů pneumatickým stříkáním**

Tento typ aplikace nátěrových systémů patří k nejčastěji používaným technologiím. Pneumatické stříkání lze využívat v kusové, sériové i hromadné výrobě v mnoha odvětvích průmyslu (stavebnictví, strojírenství, atd.). Protože je proces výkonný, fyzicky nenáročný pro pracovníky, povlak je rovnoměrný a hladký, hodí se tato technologie pro povrchovou úpravu velkých ploch. U menších a tvarově složitých předmětů dochází k větším ztrátám nátěrové hmoty způsobené postříkem.

Vhodně připravený nátěrový systém je ze stříkacího zařízení ve formě kapiček stříkán proti povrchu materiálu, na kterém se slévají do souvislého nátěrového filmu. Tato technologie v porovnání s technologií aplikace štětcem je až 5 x produktivnější. Na kvalitu provedené protikorozní ochrany (PKO) má vliv hustota nátěrové hmoty, průměr trysky, tlak vzruchu a vzdálenost pistole od materiálu. Tato technologie je vhodnější pro PKO větších a málo členitých součástí. V opačném případě je nutné při návrhu spotřeby nátěrové hmoty uvažovat s větší ztrátou nátěru způsobené postříkem. Ztráta způsobená postříkem je ovlivněna především tvarem součástí, tlakem vzduchu a hustotou nátěrové hmoty.

Podle zvoleného typu trysky je možné upravit tvar šíře stříkané nátěrové hmoty. Kužel aplikované hmoty může být plný, dutý, plochý a bodový paprsek, viz tab. 9. Speciální trysky s více otvory umožňují aplikaci nátěrové hmoty pod rozšířeným úhlem.

Tab. 9 Typy trysek a tvar rozstříku [53]

Název rozstříku	Typ trysky	Tvar rozstříku
<i>Plný kužel</i>		
<i>Dutý kužel</i>		
<i>Bodový paprsek</i>		
<i>Plochý rozstřík</i>		
<i>Rozprašování vzduchem</i>		

Kvalitu nástříku ovlivňuje:

- hustota a filtrace nátěrové hmoty,
- teplota, čistota, vlhkost prostředí i podkladu,
- vzdálenost a sklon pistole ke stříkané ploše,
- vhodně seřízená šíře paprsku,
- správné překrývání stříkaných pásů,
- stejnoměrnost a tloušťka nástříku. [53]

Aby bylo možné provádět aplikaci, musí být zajištěno dostatečné odvětrávání. Nátěrové hmoty je nutné dostatečně naředit, čímž dochází k uvolňování VOC látek. Tyto látky je potřeba odvést odvětrávacím systémem, jinak by mohly mít neblahý vliv na pracovníky.

Při aplikaci je nutné nanést na povrch dostatečnou a stejnoměrnou tloušťku nátěrového filmu. V opačném případě se na povrchu mohou objevit potekliny, hrboly, necelistvost povlaku, atd. Nesmí se hlavně zapomínat na dobrou přípravu povrchu.

### **3.7.3.2 Nanášení bezvzduchovým stříkáním,**

Tato technologie se označuje jako Airless technologie, kdy se nevyužívá vzduchu jako nosiče. Nátěrová hmota je dopravována pod vysokým tlakem (6 až 25 MPa) až k rozprašovací trysce. Nanášením bezvzduchového stříkání se výrazně šetří čas a spotřeba nátěrového systému oproti pneumatickému stříkání. Výhodou technologie je omezení ztrát (od 2 až do 5 %), které vznikají při vzduchovém stříkání vířením vzduchu. Nátěrová hmota se dostává i do těsných spár, což u vzduchového stříkání je omezeno vnikem vzduchových polštářů v těsných místech. [42] Kapacita zařízení se pohybuje od 400 m<sup>2</sup> až po tisíce m<sup>2</sup> s výhodou připojení více stříkacích pistolí najednou. Viskozita aplikovaných nátěrových systémů může být nižší než u ostatních aplikačních technologií, čímž se omezuje používání ředidel a snížení obsahu vypouštěných VOC látek do ovzduší.

### **3.7.3.3 Stříkání nátěrových hmot v ohřátém stavu**

V důsledku zvýšené teploty mají nátěrové systémy vyšší konzistenci a téměř není nutné používat ředidla. Tato vlastnost umožňuje nanášet nátěrové systémy téměř v původní konzistenci a dosahovat tak větší tloušťku nátěrů při nižším počtu aplikovaných vrstev. [42] Ztráty nátěrové hmoty při aplikaci se pohybují kolem 15 %. [34] Nátěrové systémy v ohřátém stavu lze aplikovat vzduchovým i bezvzduchovým stříkáním.

Existují i nátěrové hmoty dvousložkové bezrozpuštědlové, které se aplikují v jedné vrstvě o tloušťce 500 - 1000 μm. Jedná se o elastomerní polyuretany, které se využívají na různé ocelové konstrukce i mosty a dále povlaky se skleněnými vločkami. Tyto skleněné vločky se do nátěrových systémů přidávají pro zesílení nátěrového filmu a zvýšení životnosti. [43]

Nevýhoda technologie spočívá ve složitosti zařízení, další investici na ohřívací zařízení, atd.

#### 3.7.3.4 Další aplikační technologie

Pro aplikaci nátěrových systémů na mostní konstrukce lze použít technologie popsané výše. Další technologie se z důvodu produktivity, rozměrového omezení, atd., používají spíše pro úpravu jiných typů dílů, součástí či konstrukcí.

##### Další aplikační technologie:

- máčení,
- odstředování,
- polévání,
- navalování,
- elektroforézní nanášení,
- v elektrickém poli vysokého napětí,
- technologie coil-coating.

### 3.8 Vady nátěrů

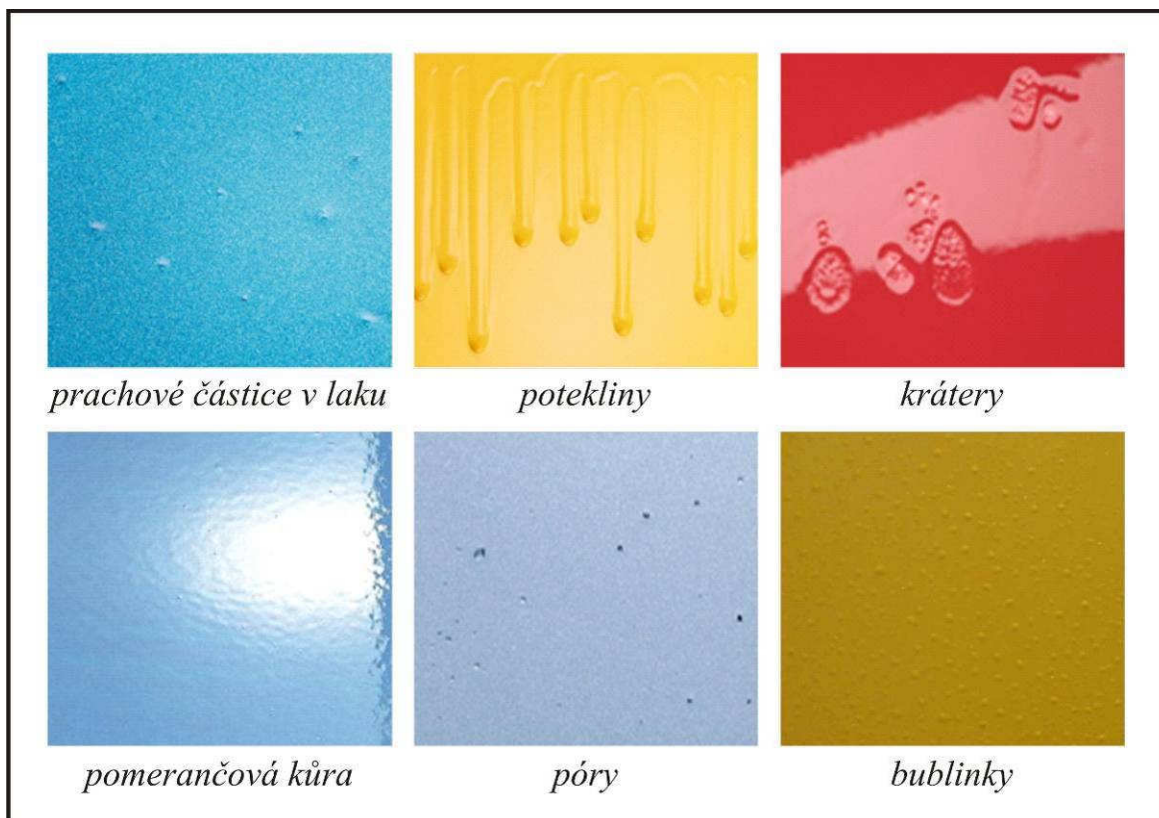
V případě, že povrch materiálu není před aplikací nátěrového systému řádně očištěn, dojde k zanesení nečistot do nátěrového filmu, nebo nebyla-li dodržena technologie aplikace nátěrového systému, dochází ke vzniku vad. Tyto vady mohou mít negativní vliv na přilnavost nátěrového systému a jeho korozní odolnost. Je tedy vhodné znát příčiny vzniku jednotlivých vad z důvodu jejich vyvarování se.

V tab. 10 jsou uvedeny pouze vybrané možné vady, které se mohou objevit na povrchu nátěrových systémů na ocelové konstrukce po aplikaci. V případě, že se tyto vady vyskytnou, je nezbytně nutné provést opravu. V opačném případě by mohlo dojít ke snížení životnosti nátěrového systému, což by vedlo v krátké době k opravě a vyšším nákladům oproti okamžité opravě po aplikaci.

Tab. 10 Vybrané typy vad nátěrových systémů [44]

Typ vady	Příčina/ prevence/ náprava
Prachové částice v povlaku	<b>Příčina:</b> znečištění povrchu před aplikací, podtlak v lakovací kabině, nevhodné oblečení lakýrníků.
	<b>Prevence:</b> pečlivé čištění povrchů, používání čistých antistatických pracovních oděvů.
	<b>Náprava:</b> poškozenou oblast lehce přebrousit a vyleštit.
Potekliny nátěrového systému	<b>Příčina:</b> nerovnoměrná aplikace, nesprávná viskozita nátěrového systému, silná vrstva nátěrového systému, špatně zvolené ředidlo, vada stříkací pistole.
	<b>Prevence:</b> kontrola stavu stříkací pistole, dodržovat doporučení pro aplikaci uvedené v technickém listě nátěrového systému.
	<b>Náprava:</b> steklé kapky odstranit lehkým přebroušením po doporučené době pro schnutí a aplikovat nátěrový systém na postižené místa.
Krátery	<b>Příčina:</b> příliš vlhký vzduch, vzduch vháněný do pistole byl kontaminován olejem nebo vodou, špatné rozmíchání nátěrového systému.
	<b>Prevence:</b> zajistit pravidelnou údržbu přívodu stlačeného vzduchu.
	<b>Náprava:</b> povrch přebrousit a přestříkat vrchní nátěrovou hmotou.
Pomerančová kůra	<b>Příčina:</b> vysoká viskozita nátěrového systému, použití vysoce těkavých ředidel, příliš velká vzdálenost mezi stříkací pistolí a stříkaným objektem, aplikace nedostatečného množství nátěrového systému.
	<b>Prevence:</b> použití vhodného druhu ředidla, kontrola viskozity laku, dodržování předepsané vzdálenosti stříkací pistole od stříkaného objektu
	<b>Náprava:</b> místa s malým výskytem přebrousit a přeleštit, v případě nutnosti je možno z poškozené oblasti nátěrového systému zcela odstranit a přestříkat.
Špatná krycí schopnost	<b>Příčina:</b> nedostatečná tloušťka vrchního nátěrového filmu, nestejný podklad.
	<b>Prevence:</b> zajistit doporučenou tloušťku vrstvy vrchního nátěrového filmu.
	<b>Náprava:</b> celý povrch musí být přebroušen a znovu aplikovat nátěrový systém.
Póry	<b>Příčina:</b> příliš hustý nátěrový systém, nevhodné tužidlo a vysoká teplota.
	<b>Prevence:</b> dodržovat doporučení pro aplikaci uvedená v technickém listě nátěrového systému, volba vhodného tužidla.
	<b>Náprava:</b> přebrousit a znovu aplikovat nátěrový systém.
Bubliny	<b>Příčina:</b> vlhkost vzduchu před aplikací byla příliš vysoká, změnou teploty došlo ke kondenzaci, vháněný stlačený vzduch byl vlhký.
	<b>Prevence:</b> pravidelná kontrola vlhkosti vzduchu, zajistit přívod čistého stlačeného vzduchu.
	<b>Náprava:</b> postiženou oblast přebrousit a aplikovat vrchní nátěr.





**Obr. 34** Obrázkové znázornění některých možných vad v povlaku [51]

Níže jsou uvedeny problémy, které se nedoporučuje zanedbávat při aplikaci.

Chyby vyskytující se při aplikaci:

- a) nedokonalá homogenizace nátěrového hmoty,
- b) použití nevhodných ředidel,
- c) aplikace nátěrů při nízké teplotě,
- d) neočištěné povrchy od silikonových olejů,
- e) pění nátěrových hmot,
- f) špatná viskozita nátěrových hmot,
- g) nedostatečné proschnutí první vrstvy nátěrového systému před aplikací druhé vrstvy,
- h) nedostatečná přilnavost jednotlivých vrstev. [26]

### 3.9 Údržba nátěrových systémů

Před provedením údržby nátěrového systému je nutné určit plochu výskytu poškození a stupeň korozního napadení konstrukce. V případě, že dojde k prorezavění nátěrového

systému do 1 % celkové plochy nebo ke změně barevného odstínu, není nutné provádět obnovu nátěrového systému.

Oprava nátěrových systémů může být provedena v případě výskytu následujících jevů:

1. Místní výskyt koroze na kritických plochách, jako jsou svary, rohy, kouty, hrany.
2. Lokální výskyt koroze v místech s hromaděním vlhkosti a nečistot u konstrukcí nebo jejích dílčích prvků nevystavených trvalému nebo střídavému ponoru.
3. Lokální výskyt korozního napadení (prorezavění) povlaků v místech se sníženou tloušťkou nebo v pórech povlaku.
4. Výskyt koroze v důsledku mechanického poškození povlaku.
5. Rozšiřování korozního napadení z míst s poškozeným povlakem.
6. Odlupování ochranného povlaku nebo jednotlivých vrstev nátěrového systému.
7. Tvorba puchýřů.
8. Praskání nátěrového systému nebo tvorba trhlin.
9. Snížení adheze nátěrového systému nebo povlaku pod hodnotu 1 MPa, pokud je provázeno projevy korozního napadení.
10. Křídování organické složky ochranného povlakového systému, provázené výrazným snížením jeho tloušťky nebo korozním napadením.
11. Výskyt korozního napadení na 1 % plochy konstrukce. [45]

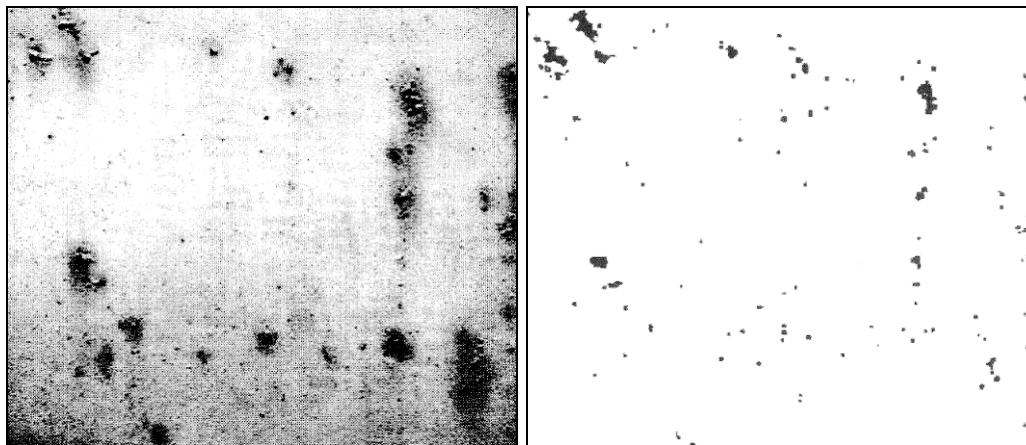
V případě, že došlo k prokorodování nátěrového systému společně s odlupováním, praskáním, puchýřkováním, prorezavěním nátěrového filmu nebo k výrazné ztrátě adheze povlaku či jeho značné podkorodování, je nutné tato místa opravit v celé tloušťce nátěru. Poškozená místa musí být očištěna a místa, kde dojde ke spojení původního aplikovaného nátěrového systému s novým, musí být lehce zdrsňena. [45] Opravy nátěrových systémů se dělí do dvou kategorií. Při volbě typu údržby je nutné brát ohled na náklady spjaté s opravou nátěrových systémů a zvolit vhodnou opravu. Místní oprava je investičně nenáročnější než kompletní obnova nátěrového systému. [46]

Obnovu nátěrového systému můžeme rozlišit dle ČSN EN ISO 4628-3 na:

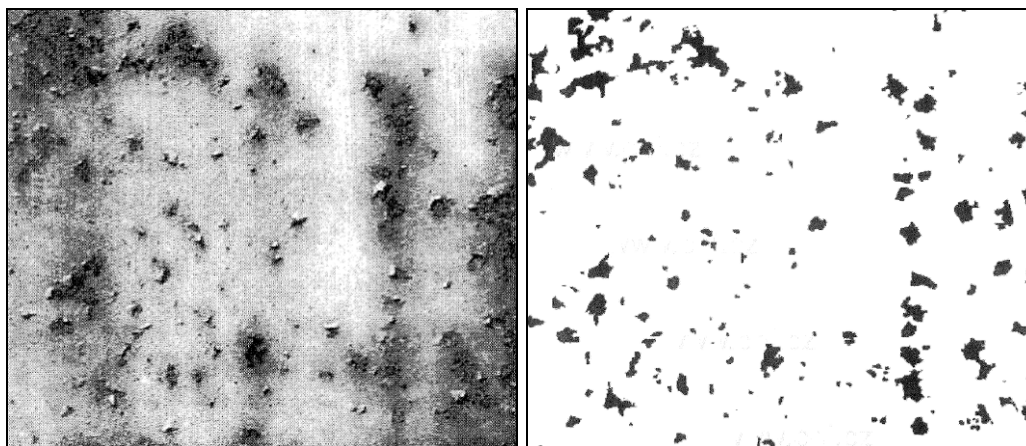
- a) místní a částečná obnova nátěrového filmu: stupeň prorezavění Ri 3,
- b) kompletní obnova nátěrového filmu: stupeň prorezavění Ri 4.

Norma ČSN EN ISO 4628-3 „Nátěrové hmoty – Hodnocení degradace nátěrů – Klasifikace množství a velikosti defektů a intenzita jednotlivých změn vzhledu – Část 3:

Hodnocení stupně prorozavění“, rozděluje procentuálně poškození plochy pouze do 6 stupňů (Ri 0 až Ri 5). Maximální stupeň prorozavění je povolen Ri 3, při kterém se provádějí pouze místní nebo částečné opravy. Ostatní vady podle ČSN EN ISO 4628-2,4,5 se pro posouzení životnosti nátěrového systému nevyhodnocují. [39, 67]



**Obr. 35** Stupeň prorozavění Ri 3 dle normy ČSN EN ISO 4628-3 [67]



**Obr. 36** Stupeň prorozavění Ri 4 dle normy ČSN EN ISO 4628-3 [67]

Při celkové opravě nátěrového systému je nutné dbát na životní prostředí. Jde především o možnost úniku abraziva a starých nátěrů do okolního prostředí, především do řek a potoků. Proto musí být zabezpečeno dokonalé zachycení abraziva při otryskávání a staré nátěry musí být ekologicky zlikvidovány. [47]

Tab. 11 Doporučené metody údržby konstrukcí vystavených atmosféře [69]

Stav udržovaného nátěrového systému	Stupeň prorezavění dle ČSN EN ISO 4628-3	Doporučené metody údržby	Doporučený minimální stupeň předúpravy podkladu
Povrch znečištěn, bez významného výskytu korozního napadení	Ri 0, Ri 1, Ri 2	Preventivní čištění, kontroly stavu	-
Výskyt významného korozního napadení	Ri 3	Místní a částečná oprava	St2, St3
	Ri 4	Kompletní oprava	Sa2 ½

### 3.10 Vliv nátěrových hmot na životní prostředí

Zkvalitňování životního prostředí se řeší již mnoho let a je snaha o snížení emisních limitů. V roce 1991 došlo v Ženevě k podepsání protokolu o snižování emisních limitů těkavých organických látek. Česká republika se k této úmluvě připojila 1.7.1997. Tím se zavázala k řešení otázky týkající se snižování obsahu VOC látek v nátěrových systémech. Na tento popud byla vydána vyhláška 355/2002 Sb. „*Ministerstva životního prostředí, která stanovuje emisní limity a další podmínky provozování ostatních stacionárních zdrojů znečišťování ovzduší emitujících těkavé organické látky z procesů aplikujících organická rozpouštědla a ze skladování a distribuce benzínu.*“ [55] Tato vyhláška vychází ze zákona č. 86/2002 Sb. „*o ochraně ovzduší a o změně některých dalších zákonů (zákon o ochraně ovzduší)*“.[56]

Zároveň i Evropská unie se snaží o snižování množství vypouštěných emisí do ovzduší. Evropský parlament a Rada Evropské unie vydala Směrnici 1999/13/ES ze dne 11. 3. 1997, která nařizuje omezení emise těkavých organických látek (VOC). Směrnice byla v roce 2004 doplněna o směrnice nařizující maximálně přípustný obsahů organických rozpouštědel v nátěrových hmotách. Vznikla novelizace Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2004/42/ES ze dne 21. 4. 2004, která určuje hranice obsahu VOC v nátěrových hmotách. Směrnice rozdělila postup snižování VOC látek v nátěrových systémech do dvou etap, kdy první etapa nabývá platnosti od 1. 1. 2007 a druhá etapa od 1. 1. 2010.

Tab. 12 Nejvyšší mezní hodnoty obsahu VOC pro barvy a laky [55]

Podkategorie výrobku	Druh	Etapa I (g/l) (od 1. 1. 2007)	Etapa II (g/l) (od 1. 1. 2010)
Vnitřní/venkovní barvy na dřevo a kov pro vybavení a obklady budov	VŘNH RNH	150 400	130 300
Základní nátěrové hmoty	VŘNH RNH	50 450	30 350
Jednosložkové speciální nátěrové hmoty	VŘNH RNH	140 600	140 500
Vícesložkové reaktivní nátěrové hmoty pro specifické účely, např. na podlahy	VŘNH RNH	140 550	140 500
Vícebarevné nátěrové hmoty	VŘNH RNH	150 400	100 100
Nátěrové hmoty s dekorativními efekty	VŘNH RNH	300 500	200 200

Definice podkategorií výrobků dle Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2004/42/ES: [55]

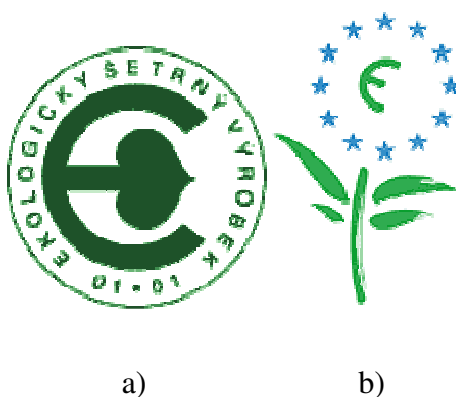
1. **Vnitřní/venkovní barvy na dřevo, kov nebo plasty pro vybavení a obklady budov** jsou nátěrové hmoty určené k nanášení na dveřní a okenní konstrukce a obklady, které vytvářejí krycí film. Určeny jsou pro dřevěné, kovové nebo plastové podklady. Tato podkategorie zahrnuje též podkladové nátěrové hmoty a nátěrové hmoty pro mezivrstvy.
2. **Základní nátěrové hmoty** jsou nátěrové hmoty s těsnicím nebo izolačním účinkem určené k použití na dřevo nebo na stěny a stropy.
3. **Jednosložkové speciální nátěrové hmoty** jsou speciální nátěrové hmoty na bázi filmotvorných látek. Jsou určeny pro aplikace se zvláštními požadavky, jako jsou základní a vrchní nátěry na plasty, základní nátěry na železné podklady, základní nátěry na reaktivní kovy, jako je zinek a hliník, antikoroziční nátěry, nátěrové hmoty na podlahy, včetně dřevěných a betonových podlah, ochrana proti grafitům, protipožární nátěry a nátěry odpovídající hygienickým normám v potravinářském průmyslu a ve zdravotnických zařízeních.



4. **Vícesložkové speciální nátěrové hmoty** jsou nátěrové hmoty ke stejnému použití jako jednosložkové speciální nátěrové hmoty, avšak s druhou složkou (např. terciárními aminy) přidávanou před použitím.
5. **Vícebarevné nátěrové hmoty** jsou nátěrové hmoty, které přímo při prvním nanesení vytvářejí dvoubarevné nebo vícebarevné efekty.
6. **Nátěrové hmoty s dekorativními efekty** jsou nátěrové hmoty určené k vytváření zvláštních estetických efektů na speciálně upravených, předem natřených podkladech nebo podkladových nátěrech, s následným opracováním různými nástroji během fáze zasychání.

Výrobci nátěrových systémů se podle výše uvedených zákonů řídí a snaží se vyvíjet nátěrové systémy, které budou obsahovat co nejmenší množství VOC látek. Zaměřují se např. na vývoj vodou ředitelných nátěrů, které disponují podobnými či lepšími vlastnostmi jako nátěrové systémy s organickými rozpouštědly. Je však nutné podotknout, že i vodou ředitelné nátěrové systémy obsahují VOC látky, ale objem je cca třetinový v porovnání s ostatními nátěrovými systémy.

Nátěrové systémy označené tzv. Ekoznačkou, patří do kategorie nátěrových systémů ekologicky šetrných, kterou výrobce může používat, pokud má oprávnění v souvislosti s certifikací výrobce podle normy ISO 11024. [11]



**Obr. 37** a) Značka ekologicky šetrného výrobku v ČR, b) Značka ekologicky šetrného výrobku v EU ([www.enviport.cz](http://www.enviport.cz))

#### 4. Cíle disertační práce

Cíl disertační práce „Vliv použití ochranných povlaků na životnost mostních konstrukcí z patinujících ocelí“ je zaměřen na patinující oceli typu Atmosfix a COR-TEN. Tyto oceli mají schopnost za vhodných atmosférických podmínek vytvářet stabilní oxidickou vrstvu tzv. patinu. Jestliže jsou patinující oceli vystaveny v prostředí, kde není splněn základní předpoklad cyklického zvlhčování a vysušování povrchu, materiály degradují stejně jako konstrukční uhlíkové oceli. Nedojde-li k nápravě, nebo se neodstraní negativní vlivy zapříčiňující zastavení nebo zpomalení tvorby patiny, materiál není povrchově chráněn. V případě velkých korozních ztrát materiálu musí být na povrch aplikována povrchová ochrana např. nátěrový systém. Práce se zaměřuje na chování nátěrových systémů aplikovaných na patinující oceli, kde povrch materiálu je před aplikací nátěrů různě předupraven.

Experimentální práce byly zaměřeny na testování vrstvy nátěrových hmot, které byly aplikovány na podkladový materiál otryskaný (stupeň přípravy povrchu Sa 1, Sa 2, Sa 2 ½) a kartáčovaný (stupeň přípravy povrchu St 2).

Na těchto vzorcích byly provedeny tyto experimentální práce:

- stanovení čistoty a chemického složení povrchu,
- měření drsnosti povrchu,
- měření přilnavosti nátěrových systémů,
- korozní odolnost nátěrových systémů,
- odolnost vůči solícímu roztoku.

## 5. Metodika experimentálních zkoušek

- vizuální hodnocení čistoty povrchu dle ČSN EN ISO 8501-1,
- hodnocení zaprášení povrchu (zbytky korozních částic) dle ČSN ISO 8502-3,
- měření drsnosti podkladového materiálu dle ČSN EN ISO 4287,
- SEM analýza povrchu materiálu,
- zhotovení nátěrových filmů na ocelovém podkladu,
- stanovení tloušťky mokrého a suchého nátěrového filmu dle ČSN EN ISO 2808,
- korozní zkouška v umělé atmosféře – zkouška solnou mlhou dle ČSN EN ISO 9227,
- ponorová zkouška v solícím roztoku,
- urychlená atmosférická zkouška s postřikem solícího roztoku – „Scab test“,
- zrychlená ponorová zkouška odolnosti nátěru proti podkorodování dle ČSN 67 3087,
- stanovení obsahu těkavých organických látek v nátěrové hmotě gravimetrickou metodou.

### Hodnocení nátěrových systémů:

- hodnocení stupně puchýřkování dle ČSN EN ISO 4628-2,
- hodnocení stupně prorezavění dle ČSN EN ISO 4628-3,
- hodnocení stupně delaminace a koroze v okolí řezu dle ČSN EN ISO 4628-8,
- hodnocení přilnavosti nátěrových systémů,
  - odtrhová zkouška přilnavosti dle ČSN EN ISO 16276-1,
  - mřížková zkouška dle ČSN EN ISO 16276-2.

## 6. Charakteristika experimentálních zkoušek

### 6.1 Vizuální hodnocení čistoty povrchu dle ČSN EN ISO 8501-1

Norma ČSN EN ISO 8501-1 „*Příprava ocelových povrchů před nanesením nátěrových hmot a obdobných výrobků – Vizuální vyhodnocení čistoty povrchu – Část 1: Stupně zarezavění a stupně přípravy ocelového podkladu bez povlaku a ocelového podkladu po úplném odstranění předchozích povlaků*“, specifikuje stupeň zarezavění a stupeň přípravy povrchu před aplikací nátěrového systému.

#### a) *Stupně zarezavění*

- A povrch oceli je z velké části pokryt přilnavou vrstvou okují, ale téměř bez rzi,
- B na povrchu oceli se začala tvořit rez a z povrchu se začaly odlupovat okuje,
- C povrch oceli, ze kterého odkorodovaly okuje, nebo ze kterého je lze oškrábat, a který vykazuje mírnou korozi viditelnou prostým okem,
- D povrch oceli, ze kterého odkorodovaly okuje, a který vykazuje celkovou rovnoměrnou důlkovou korozi (pitting) viditelnou prostým okem. [62]

#### b) *Stupně přípravy povrchu*

##### **Otryskávání**

- Sa 1 – lehké otryskání
- Sa 2 – důkladné otryskání
- Sa 2 ½ - velmi důkladné otryskání
- Sa 3 – vizuálně čistý povrch

##### **Kartáčování**

- St 2 – důkladné ruční a mechanizované čištění
- St 3 – velmi důkladné ruční a mechanizované čištění

##### **Čištění plamenem**

- FI – čištění plamenem [62]

## 6.2 Hodnocení zaprášení povrchu - zbytky korozních částic dle ČSN ISO 8502-3

Norma ČSN ISO 8502-3 „*Příprava ocelových podkladů před nanesením nátěrových hmot a obdobných výrobků – Zkoušky pro vyhodnocení čistoty povrchu – Část 3: Stanovení prachu na ocelovém povrchu připraveném pro natírání (metoda snímání samolepící páskou)*“, popisuje metodu pro stanovení zbytků prachových částic na ocelovém podkladu před aplikací nátěrového systému. [64] Na povrchu otryskaného materiálu převážně zůstávají zbytky tryskacího média a u kartáčovaných povrchů zbytky korozních zplodin. Nejedná se tedy přímo o prachové částice, ale tato zkouška udává vypovídající hodnotu o znečištění povrchu - vrstvy mohou negativně ovlivnit přilnavost i korozní odolnost aplikovaného nátěrového systému.

Na povrch materiálu se nalepí průhledná (bezbarvá) samolepící páska o šířce 25 mm a palcem se pohybuje přes pásku třikrát v každém směru. Neulpělé částice z povrchu se zachytí na pásku. Po odstranění pásky z povrchu a nalepení na barevně kontrastní papír se vizuálně vyhodnotí množství a velikost ulpělých částic.

Pro hodnocení se využívají následující tabulky. Všechny změny barvy pásky se hodnotí jako množství částic stupeň 5 a velikost částic stupeň 1.

	<b>1</b>
	<b>2</b>
	<b>3</b>
	<b>4</b>
	<b>5</b>

**Obr. 38** Obrázková stupnice odpovídající množství prachu dle označení 1, 2, 3, 4 a 5 [64]

Tab. 13 Třídy velikosti prachových částic [64]

Třída	Popis prachových částic
0	částice neviditelné při zvětšení 10 x
1	částice viditelné při zvětšení 10 x, ale ne prostým okem (obvykle částice menší než 50 $\mu\text{m}$ v průměru)
2	částice již viditelné prostým okem (obvykle částice mezi 50 $\mu\text{m}$ a 100 $\mu\text{m}$ v průměru)
3	částice jasně viditelné prostým okem (částice od 0,5 mm v průměru)
4	částice mezi 0,5 a 2,5 mm v průměru
5	částice větší než 2,5 mm v průměru

### 6.3 Měření drsnosti podkladového materiálu dle ČSN EN ISO 4287

Norma ČSN EN ISO 4287 „Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – Struktura povrchu: Profilová metoda – Termíny, definice a parametry struktury povrchu“, stanovuje termíny, definice a parametry pro určení drsnosti, vlnitosti a základního profilu podkladového materiálu profilovou metodou. [70]

Pomocí drsnoměru Mitutoyo Surftest SJ-301 byly naměřeny níže uvedené parametry. Měřicí přístroj hodnotí povrchovou texturu materiálu a podle národních a mezinárodních norem určuje jednotlivé parametry drsnosti povrchu. Výsledky měření lze zobrazit graficky s možností importace dat do počítače a zároveň díky zabudované tiskárně naměřené hodnoty vytisknout. [35]

#### Měřené parametry drsnosti:

- Ra – průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu [ $\mu\text{m}$ ],
- Ry – maximální výška profilu [ $\mu\text{m}$ ] (dle JIS 94),
- Rz – nejvyšší výška profilu [ $\mu\text{m}$ ],
- Rq – průměrná kvadratická úchylka posuzovaného profilu [ $\mu\text{m}$ ],
- Rp – nejvyšší výška výstupku profilu [ $\mu\text{m}$ ],
- Rv – největší hloubka prohlubně profilu [ $\mu\text{m}$ ],
- Rsk – šikmost posuzovaného profilu (součinitel asymetrie) [-],
- Rku – špičatost posuzovaného profilu [-],
- $\lambda_c$  – délka měřeného úseku [mm]. [70]

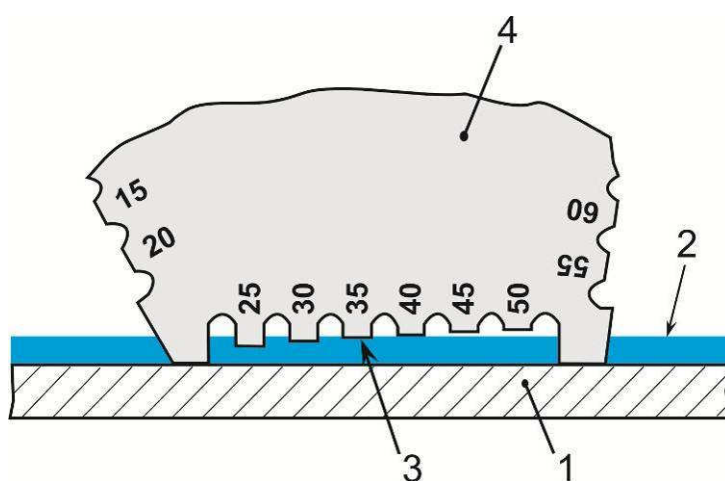


#### 6.4 Stanovení tloušťky mokrého a suchého nátěrového filmu dle ČSN EN ISO 2808

Norma ČSN EN ISO 2808 „Nátěrové hmoty – Stanovení tloušťky nátěru“, stanovuje metody pro měření tloušťky nátěrového systému aplikovaného na podkladový materiál. Vymezuje metody pro určení tloušťky mokrého filmu a suchého filmu nátěrového systému.

##### a) Stanovení tloušťky mokrého filmu nátěrového systému

Pro stanovení tloušťky mokrého filmu byla použita metoda 1A – Měřicí hřeben. [71]



**Obr. 39** Schéma měření pomocí měřicího hřebenu

1. podkladový materiál, 2. nátěrový systém, 3. bod smočení, 4. měřicí hřeben [71]

Měřicí hřeben se ponoří do mokrého nátěrového filmu tak, aby referenční zuby ležely kolmo k podkladovému materiálu. Výsledná hodnota tloušťky mokrého filmu odpovídá hodnotě z nejvyššího stupně zubu, který byl zabarven. [48]

##### b) Stanovení tloušťky suchého filmu nátěrového systému

Tloušťka suchého filmu nátěrového systému byla měřena digitálním tloušťkoměrem Elcometer 456, který měří tloušťku nemagnetických povlaků na feromagnetickém podkladu. Digitální tloušťkoměr se přikládá na povrch nátěrového filmu a hodnota tloušťky nátěru se zobrazuje na displeji.

## 6.5 Korozní zkouška v umělé atmosféře – zkouška solnou mlhou dle ČSN EN ISO 9227

Norma ČSN EN ISO 9227, *Korozní zkouška v umělé atmosféře – Zkoušky solnou mlhou*, stanovuje přístroje, chemikálie a postupy pro zkoušky v mlze chloridu sodného a měďnatého, pro určení korozní odolnosti kovových materiálů a ochranných nátěrových systémů.

Vzorky umístěné ve stojanech s rozstupem se vloží do korozní komory, kde dochází k rovnoměrnému spadu neutrální solné mlhy, která vzniká z roztoku chloridu sodného a destilované vody o koncentraci  $50 \text{ g/l} \pm 5 \text{ g/l}$ . [72]

### Provozní podmínky korozní komory Leibisch typ S400 M-TR:

- tlak vzduchu 3 – 4 bar,
- tlak vody 2,5 – 3 bar (max. 4 bar),
- průtok 0,45 l/hod,
- teplota v komoře 35 °C,
- teplota zvlhčovače 55 °C.
- spad aerosolu 80 g/24 h,
- pH spadu 6,5 - 7,2.

## 6.6 Ponorová zkouška v solicím roztoku

Ponorová zkouška v solicím roztoku byla modifikována jako modifikovaná zkouška podle normy ČSN EN ISO 11130 *Koroze kovů a slitin - Zkouška střídavým ponorem do solného roztoku*. Zkouška hodnotí korozní odolnost kovů, slitin kovů a nátěrových systémů. [73]

Zkouška byla provedena v roztoku chloridu sodného, který je používán při zimní údržbě silnic a dálnic podle vyhlášky Ministerstva dopravy a spojů 104/197 Sb. o pozemních komunikacích, která určuje pro zkrápění posypovou solí roztok o koncentraci 18 – 21 %.

Vzorky s aplikovaným nátěrovým systémem se ponořily do předem připraveného roztoku posypové soli a vody v ředícím poměru 1:4. Byl zvolen týdenní ponorový cyklus, po kterém se vzorky z lázně vyjmuly, opláchly a nechaly se 8 hodin oschnout volně

na vzduchu. Po oschnutí bylo provedeno vizuální hodnocení. Celková doba ponorové zkoušky byla zvolena 6 měsíců, což odpovídá dvěma zimním obdobím.

## 6.7 Urychlená atmosférická zkouška s postřikem solícího roztoku – „Scab test“

Urychlená atmosférická zkouška s postřikem solícího roztoku byla realizována jako modifikovaná zkouška podle normy ISO 11474 *Corrosion of metals and alloys – Corrosion tests in artificial atmosphere – Accelerated outdoor test by intermittent spraying of a salt solution (Scab test)*. [74]

Norma hodnotí korozní odolnost kovů a nátěrových systémů při zrychlené korozní zkoušce s postřikem roztoku chloridu sodného. Pro postřik byl zvolen 20 % roztok chloridu sodného a destilované vody. Postřik byl prováděn 1 x denně po dobu 6-ti měsíců, což odpovídá dvěma zimním obdobím. Vždy po týdnu byly vzorky opláchnuty v destilované vodě a ponechány 1 hodinu volně na vzduchu, aby oschly. Po oschnutí se provedlo vizuální hodnocení. Zkouška je vhodná pro porovnání vlastností nátěrových systémů.

## 6.8 Zrychlená ponorová zkouška odolnosti nátěru proti podkorodování dle ČSN 67 3087

Norma ČSN 673087 „Zrychlená ponorová zkouška odolnosti nátěrů proti podkorodování (postup podle Machu a Schiffmana)“, hodnotí schopnosti nátěrů na oceli a dalších kovech, proti podkorodování v místě poškození v určitém prostředí. [75]

Protože nátěrové systémy byly aplikovány na ocelový podklad, byl zvolen pracovní postup A, kdy vzorky jsou vystaveny působení okyseleného roztoku chloridu sodného (NaCl) za přídavku peroxidu vodíku ( $H_2O_2$ ). Do lázně byly vloženy vzorky bez a s vytvořeným řezem až na podklad o délce 70 mm.

### Složení ponorové lázně:

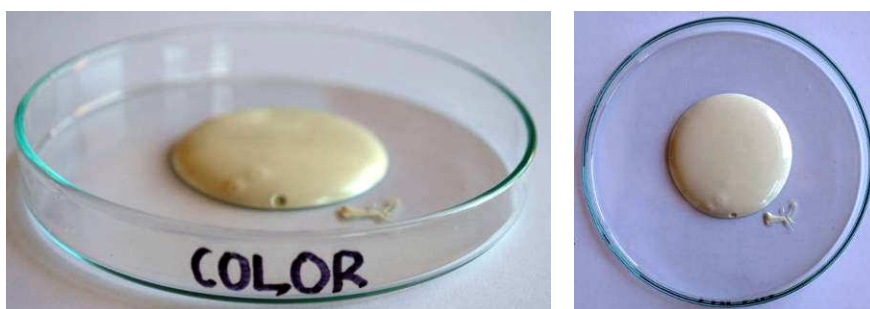
chlorid sodný (p.a.)	50 g/l
kyselina octová (100 % p.a.)	10 ml/l
peroxid vodíku (30 % p.a.)	5 ml/l
<hr/>	
pH = 2,6 až 3,0	

Rozestup mezi jednotlivými vzorky v lázni musí být minimálně 15 mm. Lázeň se v průběhu zkoušky udržuje při teplotě  $37 \pm 0,5$  °C a vzorky byly v roztoku exponovány 16 h (1 cyklus). Po vyjmutí vzorků z lázně se provedl oplach v destilované vodě a vzorky se nechaly oschnout volně na vzduchu při teplotě  $23 \pm 2$  °C. Po konečném třetím cyklu se vzorky opláchly v destilované vodě a vysušily se v sušárně při teplotě  $40 \pm 1$  °C po dobu 30 až 60 minut. [75]

## 6.9 Stanovení obsahu těkavých organických látek v nátěrové hmotě gravimetrickou metodou

Vliv těkavých organických látek (VOC) na ekologii je popsán v kapitole 3.10. Aby množství těkavých organických látek splňovalo zákonem stanovené limity, sleduje se jejich obsah v nátěrových systémech

Pro určení obsahu VOC látek byla použita gravimetrická metoda s časovým rozestupem 15 min, po kterém probíhalo vážení hmotnostního úbytku nátěrových systémů během vytvrzování. Touto metodou se určuje obsah těkavých organických látek [ $\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ ], hustota [ $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ] a obsah sušiny [% hm.] nátěrových systémů. Z naměřených hodnot se sestavuje křivka odparu těkavých organických látek, která podává představu o průběhu, intenzitě a době odpařování těkavých organických látek z nátěrových systémů. [35]



**Obr. 40** Příklad přípravy nátěrového systému Amerlock 400 Color pro stanovení obsahu těkavých organických látek

### Postup měření:

1. Zvážit hmotnost prázdné injekční stříkačky.
2. Zvážit hmotnost injekční stříkačky s nabranou nátěrovou hmotou.
3. Zvážit hmotnost prázdné Petriho misky.
4. Zvážit Petriho misku s nátěrovou hmotou.
5. Zvážit hmotnost prázdné injekční stříkačky po aplikaci.

6. Vážit Petriho misku s nátěrovou hmotou v časových intervalech 15 min.

Pro výpočet obsahu těkavých organických látek, hustoty a obsahu sušiny byly použity následující vzorce:

Obsah těkavých organických látek (VOC):

$$VOC = \frac{(m_{OF} + m_{NHV} - m_{NHF}) \cdot \rho_{NH} \cdot 1000}{m_{NHV}} \quad [\text{g} \cdot \text{l}^{-1}] \quad (1) \quad [35]$$

$$m_{NHV} = m_{PS} - m_{VS} \quad [\text{g}] \quad (2) \quad [35]$$

$m_{OF}$  – hmotnost prázdné Petriho misky [g]

$m_{NHV}$  – hmotnost nátěrové hmoty aplikované z injekční stříkačky [g]

$m_{NHF}$  – hmotnost Petriho misky s vysušenou nátěrovou hmotou [g]

$\rho_{NH}$  – hustota nátěrové hmoty [ $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ]

$m_{PS}$  – hmotnost injekční stříkačky s nátěrovou hmotou [g]

$m_{VS}$  – hmotnost prázdné injekční stříkačky po aplikaci nátěrové hmoty [g]

Obsah sušiny [% hm.]

$$\text{Obsah sušiny} = \frac{(m_{NHF} - m_{OF}) \cdot 100}{m_{NHV}} \quad [\% \text{ hm.}] \quad (3) \quad [35]$$

Hustota nátěrové hmoty

$$\rho_{NH} = \frac{m_{PS} - m_{OS}}{V_S} \quad [\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}] \quad (4) \quad [35]$$

$m_{OS}$  – hmotnost prázdné injekční stříkačky před aplikací nátěrové hmoty [g]

$V_S$  – objem stříkačky (*objem nátěrové hmoty*) [ $\text{cm}^3$ ]

***Porovnání křivek odparů nátěrových hmot***

Pro porovnání křivek odparů nátěrových hmot bylo nutné provést aproximaci naměřených hodnot úbytku hmotnosti dle vztahu:

$$c(i) = \frac{m(i)}{m_{PF}} \quad [-] \quad (5) \quad [35]$$

$m(i)$  – hmotnost Petriho misky s nátěrovou hmotou v průběhu vytvrzování [g]

$m_{PF}$  – hmotnost Petriho misky s nátěrovou hmotou [g]

### 6.10 Hodnocení stupně puchýřkování dle ČSN EN ISO 4628-2

Norma ČSN EN ISO 4628-2 „Nátěrové hmoty – Hodnocení degradace nátěrů – Klasifikace množství a velikosti defektů a intenzita jednotlivých změn vzhledu – Část 2: Hodnocení stupně puchýřkování“, charakterizuje metodu hodnocení puchýřků vzniklých v nátěrovém systému dle obrázkových standardů.

Velikost a množství puchýřků se vizuálně přirovnává obrázkovým standardům od 1 do 4. Jestliže puchýře jsou o různé velikosti, zahrnují se do hodnocení jejich velikosti ty puchýře, které jsou pro zkoušenou plochu typické. [66]

### 6.11 Hodnocení stupně prorezavění dle ČSN EN ISO 4628-3

Norma ČSN EN ISO 4628-3 „Nátěrové hmoty – Hodnocení degradace nátěrů – Klasifikace množství a velikosti defektů a intenzita jednotlivých změn vzhledu – Část 3: Hodnocení stupně prorezavění“, charakterizuje metody hodnocení stupně prorezavění nátěrového systému dle obrázkových standardů.

Prorezavění nátěrového systému kdy rez proniká na povrchu a je viditelné podkorodování nátěru, se vizuálně přirovnává k obrázkovým standardům od 1 do 5. Každý stupeň odpovídá ploše s procentuálním výskytem rzi. [67]

### 6.12 Hodnocení stupně delaminace a koroze v okolí řezu dle ČSN EN ISO 4628-8

Norma ČSN EN ISO 4628-8 „Nátěrové hmoty – Hodnocení degradace nátěrů – Klasifikace množství a velikosti defektů a intenzita jednotlivých změn vzhledu – Část 8: Hodnocení stupně delaminace a koroze v okolí řezu“, definuje postup hodnocení výpočtem s naměřených hodnot nebo vizuálně dle obrázkových standardů. Hodnocení se provádí ihned po vyjmutí zkušebních vzorků ze zkušebního prostředí. [68]

Pro hodnocení byla využita metoda vizuální, kdy dle normy se určí delaminace a koroze v okolí řezu pomocí obrázkových standardů od 1 do 5.



### 6.13 Odtrhová zkouška přilnavosti dle ČSN EN ISO 16276-1

Odtrhová zkouška dle ČSN EN ISO 16276-1, *Ochrana ocelových konstrukcí proti korozi ochrannými nátěrovými systémy - Hodnocení a kritéria přijetí, adheze/koheze (odtrhová pevnost) povlaku - Část 1: Odtrhová zkouška*, hodnotí odtrhovou pevnost nátěrového systému aplikovaného na ocelový podkladový materiál. Jedná se tedy o zkušební destruktivní metodu, protože po zkoušce povlak ztrácí ochrannou vlastnost.

Zkušební tělísko z korozivzdorné nebo hliníkové slitiny se přilepí na vytvrzený a lehce zdrsňený povrch nátěrového systému. Po vytvrzení dvousložkového lepidla se kruhovým řezným nástrojem odstraní kolem zkušebního tělíska nátěrový systém až na podkladový materiál a na zkušební tělísko se nasunou čelisti trhačích přístroje. Při konstantním nárůstu normálové síly (kolmé k povrchu zkušební vzorku) vyvolané trhačím přístrojem, dojde k odtržení zkušebního tělíska. Z trhačích přístroje se odečte hodnota odtahového napětí a vyhodnotí se charakteristika lomové plochy. [76]

Určení polohy lomu se stanoví vizuálně a v normě ČSN EN ISO 16276-1 jsou uvedena následující hodnocení:

A	kohezní poškození podkladu,
A/B	adhezní poškození mezi podkladem a první vrstvou (základem),
B	kohezní poškození první vrstvy,
B/C	adhezní poškození mezi první a druhou vrstvou,
C	kohezní poškození druhé vrstvy,
c/m	adhezní poškození mezi druhou vrstvou a m-tou vrstvou vícevrstvého systému,
m	kohezní poškození m-té vrstvy vícevrstvého systému,
m/n	adhezní poškození mezi m-tou vrstvou a n-tou vrstvou vícevrstvého systému,
n/-	adhezní poškození mezi n-tou vrstvou a vrchní vrstvou vícevrstvého systému,
-	kohezní poškození vrchní vrstvy,
-/Y	adhezní poškození mezi vrchní vrstvou a lepidlem,
Y	kohezní poškození lepidla,
Y/Z	adhezní poškození mezi lepidlem a zkušebním tělískem. [76]

## 6.14 Mřížková zkouška dle ČSN EN ISO 16276-2

Norma ČSN EN ISO 16276 „Ochrana ocelových konstrukcí proti korozi ochrannými nátěrovými systémy - Hodnocení a kritéria přijetí, adheze/koheze (odtrhová pevnost) povlaku - Část 2: Mřížková zkouška a křížový řez“. [77] Mřížková zkouška se provádí dle ČSN EN ISO 2409, *Nátěrové hmoty - Mřížková zkouška*, a je vhodná pro nátěrové systémy do tloušťky 250  $\mu\text{m}$ .

Do nátěrového systému se řezným nástrojem s jedním ostrím vytvoří 6 řezů v každém směru, čímž se vytvoří pravoúhlá mřížka. Řez musí být proveden přes celou tloušťku nátěrového systému až k podkladovému materiálu. Rozestup mezi jednotlivými řezy se volí podle tloušťky nátěrového systému dle ČSN EN ISO 2409 následovně:

$0\ \mu\text{m} - 60\ \mu\text{m}$	1 mm rozestup, pro tvrdé podklady,
$0\ \mu\text{m} - 60\ \mu\text{m}$	2 mm rozestup, pro měkké podklady,
$61\ \mu\text{m} - 120\ \mu\text{m}$	2 mm rozestup, pro tvrdé i měkké podklady,
$121\ \mu\text{m} - 250\ \mu\text{m}$	3 mm rozestup, pro tvrdé i měkké podklady. [78]

Vzhled plochy mřížky						
% poškození mřížky	0%	<5%	<15%	<35%	<65%	>65%
Klasifikace	0	1	2	3	4	5

**Obr. 41** Grafické znázornění klasifikace zkušebních výsledků mřížkové zkoušky dle ČSN EN ISO 2409 [78]

Při hodnocení se přes vytvořenou mřížku nalepí adhezivní samolepicí páska o délce 75 mm a šířce 50 mm, která se pevně přitiskne do středu mřížky a prstem se uhladí. Za volný konec se samolepicí páska uchopí a pod úhlem 60° po dobu 0,5 až 1 s se stáhne. Výsledkem zkoušky je klasifikační stupeň a příslušný popis uvedený v normě ČSN EN ISO 2409. [78]

**Tab. 14** Klasifikace zkušebních výsledků mřížkové zkoušky dle ČSN EN ISO 2409 [78]

Klasifikace	Popis
<b>0</b>	Hrany řezů jsou zcela hladké; žádný čtverec mřížky není poškozen.
<b>1</b>	Malé kousky povlaku odloupnuty v místech křížení řezů. Poškozená plocha je menší než 5 %.
<b>2</b>	Povlak se odlupuje podél řezů a/nebo v místech křížení řezů. Poškozená plocha je větší než 5 %, ale menší než 15 %.
<b>3</b>	Povlak se odlupuje podél řezů ve velkých pásech částečně nebo zcela, a/nebo se odlupuje částečně nebo zcela na různých místech čtverců. Poškozená plocha je větší než 15 %, ale menší než 35 %.
<b>4</b>	Povlak se odlupuje podél řezů ve velkých pásech zcela a/nebo některé čtverce jsou odloupnuty částečně nebo zcela. Poškozená plocha je větší než 35%, ale menší než 65 %.
<b>5</b>	Jakýkoliv stupeň odlupování, který nemůže být klasifikován ani stupněm 4.

## 7. Charakteristika vstupních materiálů

### 7.1 Podkladové materiály

Pro experimentální zkoušky nátěrových systémů byly použity tyto podkladové materiály – patinující oceli:

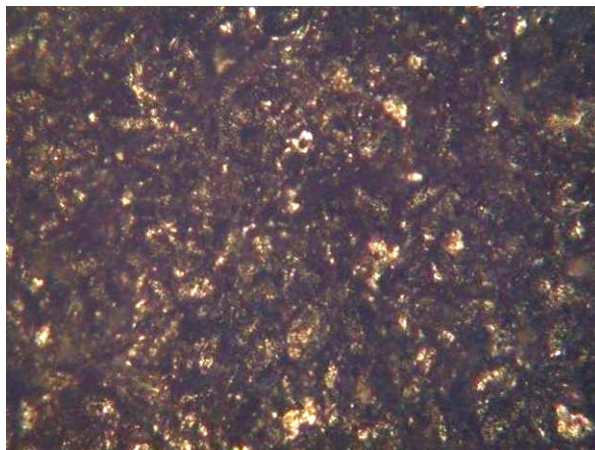
1. Ocelový plech s obchodním označením COR-TEN A,
2. Ocelový plech s obchodním označením COR-TEN B,
3. Ocelové plechy s obchodním označením Atmofix exponované 24 let.

#### 7.1.1 Ocelový plech s obchodním označením COR-TEN A

Materiály s obchodním označením COR-TEN A s obsahem 0,07 – 0,15 hmot. % P se vyznačují dobrou odolností proti povětrnostním podmínkám. Tyto oceli je vhodné použít tam, kde je vyžadována vyšší odolnost proti povětrnostním vlivům (atmosférické korozi), i když mají horší zpracovatelské vlastnosti. [48]

*Tab. 15 Chemické složení materiálu Cor-ten A [52]*

Obchodní označení	Obsah jednotlivých prvků v oceli [hm.%]										
	C	Mn	Si	P	S	Ni	Cr	Cu	V	Al	Nb
Cor-Ten A	0,09	0,35	0,30	0,081	0,005	0,27	0,48	0,28	-	0,037	-



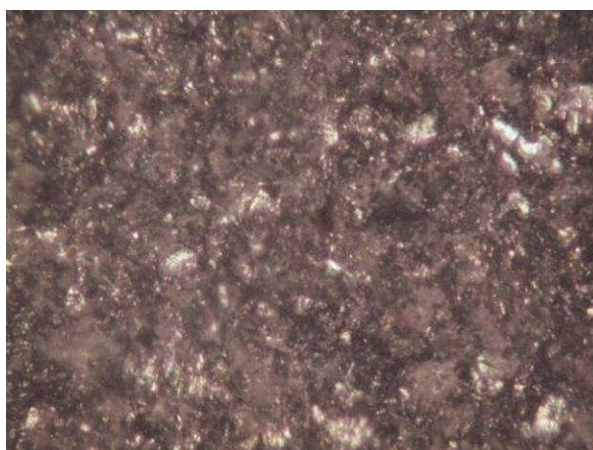
*Obr. 42 Mikrosnímek otryskaného povrchu při zvětšení 200x (vzorek typu Cor-ten A)*

### 7.1.2 Ocelový plech s obchodním označením COR-TEN B

Materiály s obchodním označením COR-TEN B se používají na mostní konstrukce a fasády budov. Materiály typu COR-TEN bez ochranného nátěru jsou jednou z možných alternativ pro použití v průmyslových oblastech. Materiál COR-TEN B se vyznačuje bezproblémovým zpracováním podobně jako běžná konstrukční ocel. [48]

*Tab. 16 Chemické složení materiálu Cor-ten B [52]*

Obchodní označení	Obsah jednotlivých prvků v oceli [hm. %]										
	C	Mn	Si	P	S	Ni	Cr	Cu	V	Al	Nb
Cor-Ten B	0,19	0,80 1,25	0,30 0,65	0,04	0,05	0,40	0,40 0,65	0,25 0,40	0,02 0,10	-	-



*Obr. 43 Mikrosnímek otryskaného povrchu při zvětšení 200x (vzorek typu Cor-ten B)*

### 7.1.3 Ocelové plechy s obchodním označením Atmofix exponované 24 let

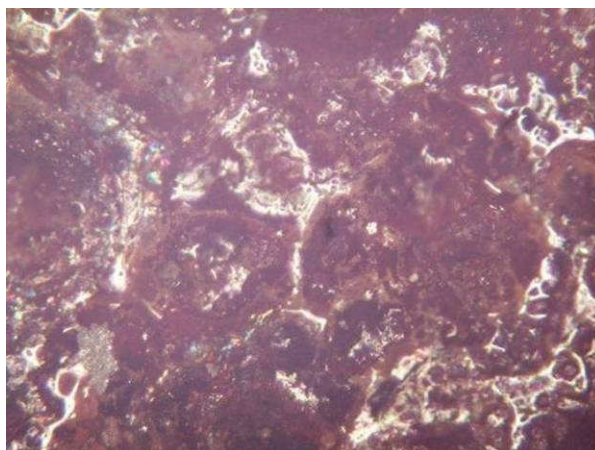
Ocelové plechy z oceli typu Atmofix 52A (chemické složení dle norem viz kapitola 2.2) se stabilní vrstvou patiny byly exponovány 24 let jako opláštění na obchodním domě Ještěd v Liberci. Na vzorcích byla měřena tloušťka vrstvy rzi. Vrstva byla rovnoměrná. U dílů, kde bylo možné jednoznačně rozlišit vrchní a spodní stranu, byla tloušťka vyšší na spodní straně s výjimkou plechů fasády. Průměrná tloušťka vrstvy u konstrukčních profilů se pohybovalo v rozsahu 80 – 115  $\mu\text{m}$ . [14]

Pro ověření chemického složení se provedla chemická analýza základního materiálu na optickém emisním spektrometru s jiskrovým buzením SPECTROMAXx.

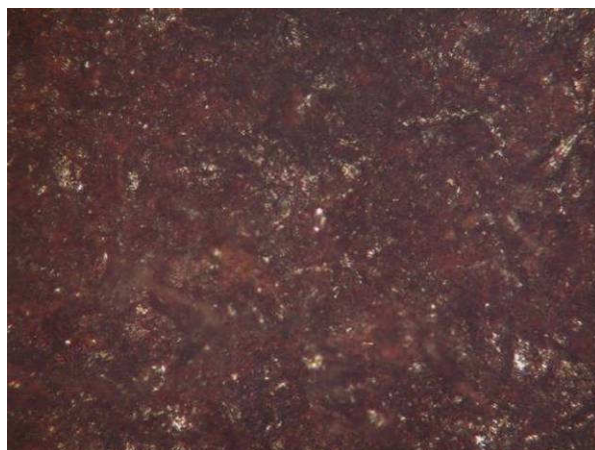
Naměřené hodnoty v tab. 17 odpovídají uvedenému rozmezí jednotlivých prvků v normě VN 73 1466 (viz kapitola 2.2). O ostatní prvcích, které nejsou uvedené v normě, ale byly při měření zaznamenány, se lze domnívat, že se jedná o mikrolegury a doprovodné prvky.

**Tab. 17** Chemické složení materiálu typu Atmofix 24 let exponovaný [48]

Označení	Obsah jednotlivých prvků v oceli [hm. %]									
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Al	Cu
Atmofix 24 let exp.	0,108	0,409	0,398	0,087	0,014	0,780	0,322	0,004	0,041	0,307
	Co	V	W	Sb	Sn	Zn	As	Bi	Ta	Fe
	0,041	0,001	0,028	0,053	0,003	-	0,023	0,011	0,033	97,300



**Obr. 44** Mikrosnímek povrchu při zvětšení 100x (vzorek exponovaný 24 let)



**Obr. 45** Mikrosnímek povrchu při zvětšení 100x (vzorek exponovaný 24 let a otryskaný na stupeň přípravy povrchu Sa 1)





**Obr. 46** Mikrosnímek povrchu při zvětšení 100x (vzorek exponovaný 24 let a otryskaný na stupeň přípravy povrchu Sa 2)

## 7.2 Nátěrové systémy

Pro zkoušky byly vybrány nátěrové systémy, které se používají pro běžné průmyslové aplikace a jsou určeny pro dlouhodobou protikorozi ochranu v prostředí s vysokou korozní agresivitou. Po konzultaci s dodavatelem a z již dříve provedených zkoušek byly zvoleny níže uvedené nátěrové systémy. Pro průmysl jsou však k dispozici i další nátěrové systémy podobných vlastností.

***Amershield*** – je alifatický polyuretan, který se vyznačuje vysokým obsahem sušiny, vysoce trvanlivým leskem a sníženým obsahem těkavých organických látek (VOC). Aplikace se provádí přímo na kov bez nutnosti použití základního nátěrového systému. Díky svým vlastnostem je vhodný na ocelové konstrukce, potrubí, v chemickém průmyslu, atd. viz příloha č. 3.

***Amerlock 450 S*** – je alifatický polyuretan, který se vyznačuje dobrou odolností proti klimatickým vlivům s vysokou houževnatostí, pružností a odolností proti otěru. Používá se jako vrchní nátěrová hmota aplikovaná na epoxidový základní nátěr nebo jako mezivrstevový nátěr. Díky svým vlastnostem je vhodný pro chemické provozy, ropné rafinerie, ocelové konstrukce, trupy lodí, atd. viz příloha č. 4.

***Amercoat 400 Al*** – je epoxidová nátěrová hmota s vysokým obsahem pevných látek, s nízkým obsahem těkavých látek. Nátěrový systém se aplikuje přímo na mechanicky očištěný podkladový materiál. Díky svým vlastnostem se nátěrový systém používá

pro renovace nátěrových systémů, ocelové konstrukce, vnější povrchy nádrží, mosty, námořní zařízení vystavené klimatickým vlivům, vodárenské věže a jiná zařízení vystavená působení vysoké vlhkosti, atd. viz příloha č. 5.

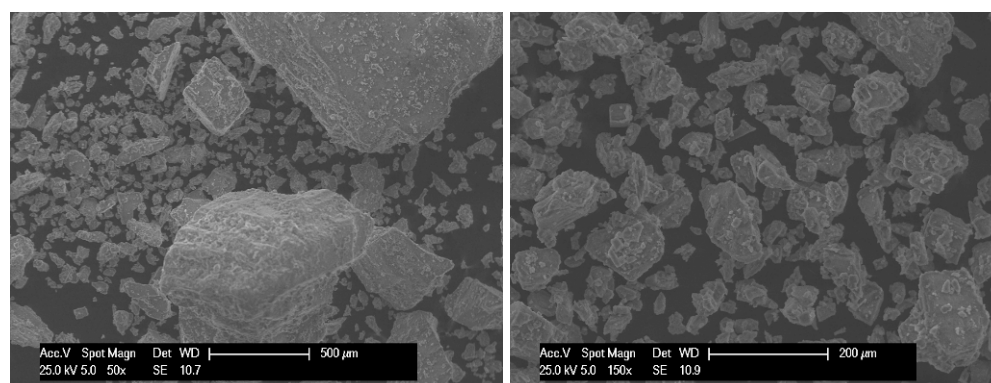
**Amercoat 400 Color** – epoxidová nátěrová hmota s vysokým obsahem pevných látek vyznačující se dobrou přilnavostí k podkladovým materiálům i k většině typů nátěrových systémů. Nátěrový systém se používá přímo na mechanicky očištěné podkladové materiály. Díky svým vlastnostem se používá pro aplikace na ocelové konstrukce, mosty, vnější povrchy nádrží, kontejnery, střechy a ostatní plochy vystavené vysoké vlhkosti, atd. viz příloha č. 6.

### 7.3 Posypová sůl

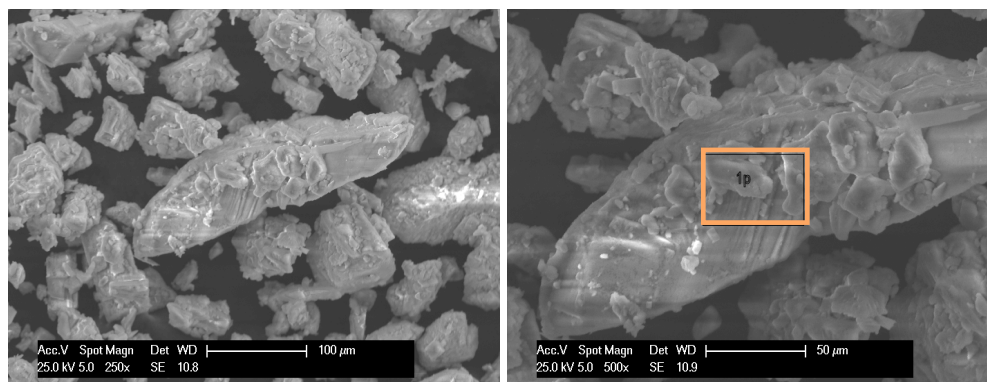
Posypová sůl (chlorid sodný) byla pro experimentální zkoušky získána od firmy Ostravské komunikace, a.s. a používá se v zimních měsících pro údržbu chodníků, silnic a dálnic v rámci Ostravska. Chlorid sodný není dle zákona 356/2003 Sb. o chemických látkách a chemických přípravcích klasifikován jako nebezpečná látka, ale z pohledu ochrany životního prostředí se jedná o látku závadnou. [57] Nebezpečí může nastat především při vniknutí většího množství do zdrojů pitné vody.

#### *Chemické složení posypové soli*

Fotografická dokumentace a chemické složení posypové soli bylo provedeno v Laboratoři elektronové mikroskopie Centra Nanotechnologií, VŠB-TU Ostrava na přístroji PHILLIPS XL30 Series.



**Obr. 47a** Posypová sůl (vlevo: zvětšení 50x, vpravo: zvětšení 150x)



**Obr. 47b** Posypová sůl (vlevo: zvětšení 250x, vpravo: zvětšení 500x s označením místa chemického rozboru)

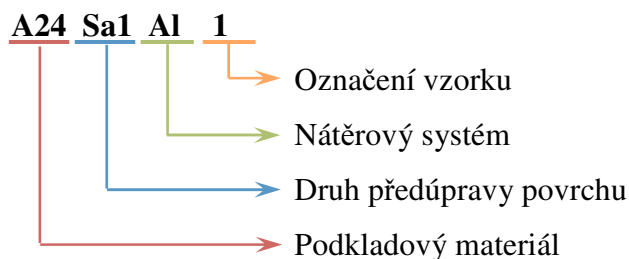
**Tab. 18** – Tabulka s chemickým rozbohem posypové soli (viz obr. 47 d – plocha)

Prvek	Wt [%]
Na K	35,87
Cl K	64,13
Celkem	100,00

## 7.4 Značení vzorků

Vzorky byly označeny písemným a číselným kódem, který zohledňuje druh použitého podkladového materiálu, přípravu povrchu, typ nátěrového systému a číslici označující pořadí vzorku v sérii.

### Příklad označení:



### Podkladový materiál:

CA	...	Cor-ten A
CB	...	Cor-ten B
A24	...	Atmofix 24 let exp.

Druh předúpravy povrchu:

Sa1	...	otryskaný na stupeň přípravy povrchu Sa 1
Sa2	...	otryskaný na stupeň přípravy povrchu Sa 2
St2	...	okartáčovaný na stupeň přípravy povrchu St 2

U podkladových materiálů Cor-ten (A, B) není uveden druh přípravy povrchu. Tyto materiály byly pouze otrýskány na stupeň přípravy povrchu Sa 2 ½.

Nátěrový systém:

A	...	nátěrový systém Amershield
S	...	nátěrový systém Amercoat 450 S
Al	...	nátěrový systém Amerlock 400 Al
C	...	nátěrový systém Amerlock 400 Color

Označení vzorku:

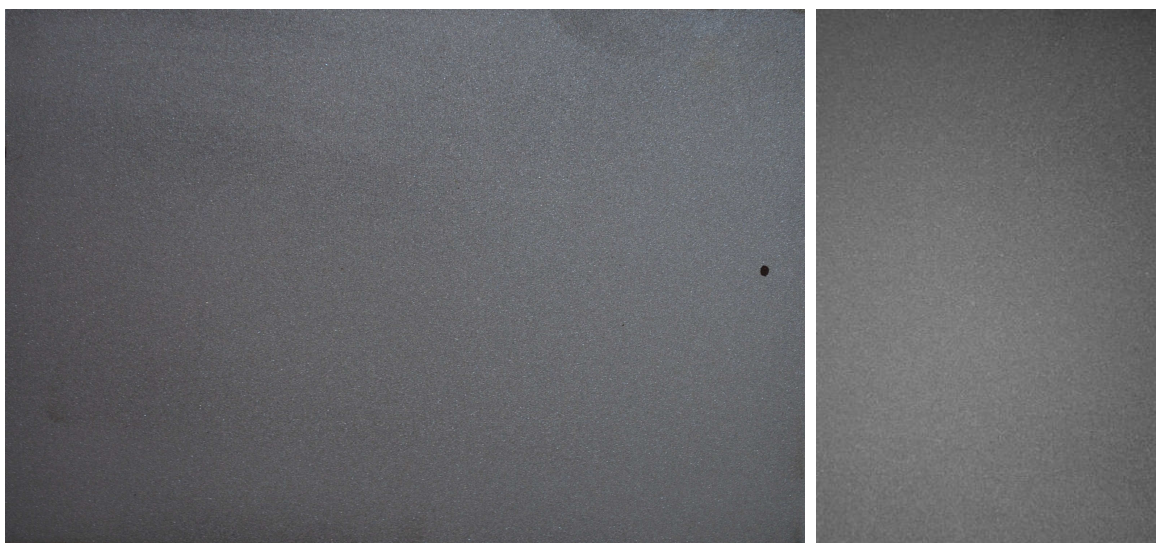
bez čísla	...	referenční vzorky
1 až 4	...	vzorky vložené do korozní komory
5 až 6	...	vzorky vložené do solné lázně
7 až 8	...	vzorky použité pro postřik solným roztokem
9 až 11	...	vzorky použité na zrychlenou ponorovou zkoušku
R1 až R4	...	vzorky s řezem ( <i>R1 – korozní komora, R2 – solná lázeň, R3 – postřik solným roztokem, R4 – zrychlená ponorová zkouška</i> )

## 8. Výsledky experimentálních zkoušek

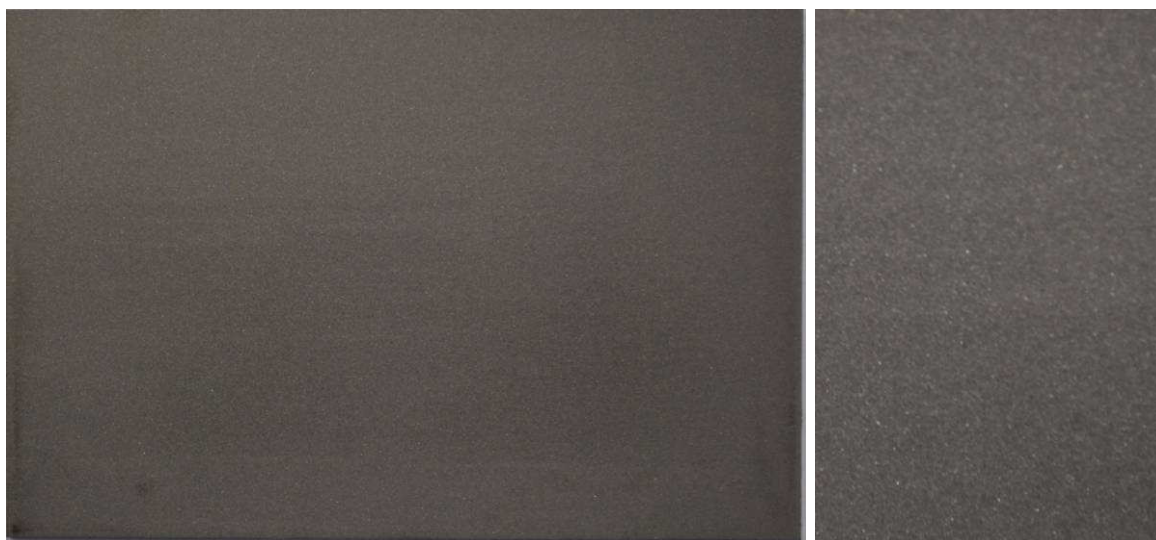
### 8.1 Vizuální hodnocení čistoty povrchu dle ČSN EN ISO 8501-1

Podkladové materiály s obchodním označením Cor-ten A a Cor-ten B byly oboustranně otryskány na stupeň přípravy povrchu Sa 2 ½ - *velmi důkladné otryskání*.

Laboratorní vzorky byly připraveny o rozměrech 100 x 150 x 3 mm.



**Obr. 48** Fotodokumentace povrchu vzorku typu Cor-ten A  
(vlevo: celý vzorek, vpravo:detail povrchu vzorku)



**Obr. 49** Fotodokumentace povrchu vzorku typu Cor-ten B  
(vlevo: celý vzorek, vpravo:detail povrchu vzorku)

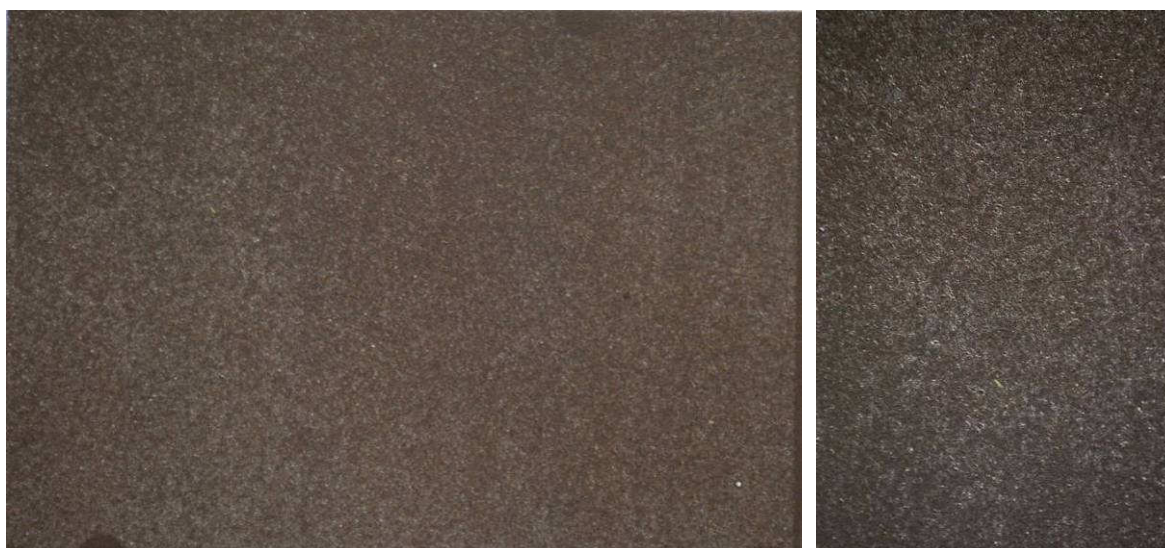


Pro stanovení přilnavosti a odolnosti nátěrových systémů na exponovaných mostních konstrukcích s již vytvořenou vrstvou patiny, byly použity vzorky z opláštění obchodního domu v Liberci exponované 24 let. Před aplikací nátěrových systémů byl povrch vzorků okartáčován na stupeň přípravy povrchu St 2 (*důkladné ruční a mechanické čištění*) a otryskán na stupeň přípravy povrchu Sa 1 (*lehké otryskání*) a Sa 2 (*důkladné otryskání*).

Pro laboratorní zkoušky byly vzorky připraveny o rozměrech 100 x 150 x 3 mm.



**Obr. 50** Fotodokumentace povrchu vzorku *Atmofix* exponovaného 24 let po okartáčování  
(vlevo: celý vzorek, vpravo: detail povrchu vzorku)



**Obr. 51** Fotodokumentace povrchu vzorku *Atmofix* exponovaného 24 let po otryskání  
na stupeň přípravy povrchu Sa 1  
(vlevo: celý vzorek, vpravo: detail povrchu vzorku)





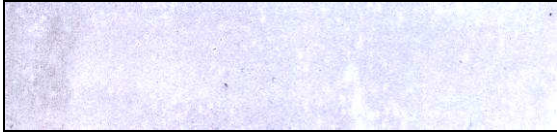
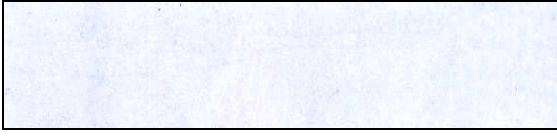
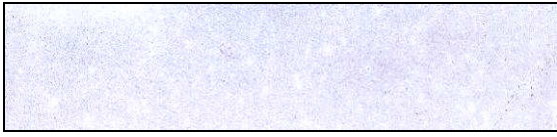







**Obr. 52** Fotodokumentace povrchu vzorku *Atmofix* exponovaného 24 let po otryskání na stupeň přípravy povrchu *Sa 2*  
(vlevo: celý vzorek, vpravo: detail povrchu vzorku)

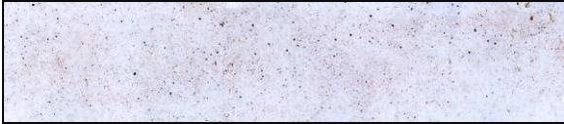


## 8.2 Hodnocení zaprášení povrchu - zbytky korozních částic dle ČSN ISO 8502-3

Pro hodnocení množství a velikosti prachových částic na ocelovém povrchu byly vybrány tři reprezentativní vzorky daného druhu podkladového materiálu. Pro každý typ ocelového povrchu byla provedena tři hodnocení.

**Tab. 19** Tabulka hodnocení množství a velikosti prachových částic

Typ ocelového povrchu	Hodnocení množství prachových částic	Hodnocení velikosti prachových částic	Grafické znázornění
Cor-ten A	5	1	
	5	1	

Typ ocelového povrchu	Hodnocení množství prachových částic	Hodnocení velikosti prachových částic	Grafické znázornění
Cor-ten A	5	1	
Cor-ten B	5	1	
	5	1	
	5	1	
Atmofix 24let exp.(St 2)	5	3	
	5	3	
	5	3	
Atmofix 24let exp. (Sa 1)	5	3	
	5	3	
	5	3	

Typ ocelového povrchu	Hodnocení množství prachových částic	Hodnocení velikosti prachových částic	Grafické znázornění
Atmofix 24let exp. (Sa 2)	5	3	
	5	3	
	5	3	

U všech podkladových ocelových povrchů dle ČSN EN ISO 8502-3 bylo množství prachových částic (korozních částic, zbytky tryskacího média) na stupni 5. Tento výsledek vypovídá o značném znečištění povrchu zbytky tryskacího média a korozními zplodinami. Lze předpokládat, že tyto částice mohou negativně ovlivnit životnost a korozní odolnost aplikovaných nátěrových systémů.

### 8.3 Měření drsnosti podkladového materiálu dle ČSN EN ISO 4287

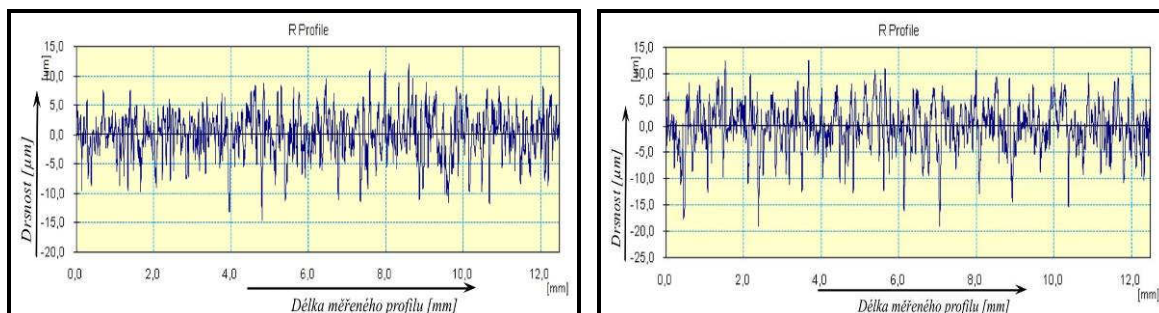
Pro měření drsnosti byly ze sady vzorků podkladového materiálu vybrány tři referenční vzorky, které byly přeměřeny měřicím přístrojem Mitutoyo SurfTest SJ-301. Nastavení měřicího přístroje je uvedeno v tab. 20.

**Tab. 20** Parametry nastavení drsnoměru Mitutoyo SurfTest SJ-301 pro podkladové materiály (u vzorku exp. 24 let (Sa 1) je  $N = 1$ ,  $\lambda_c = 8 \text{ mm}$ )

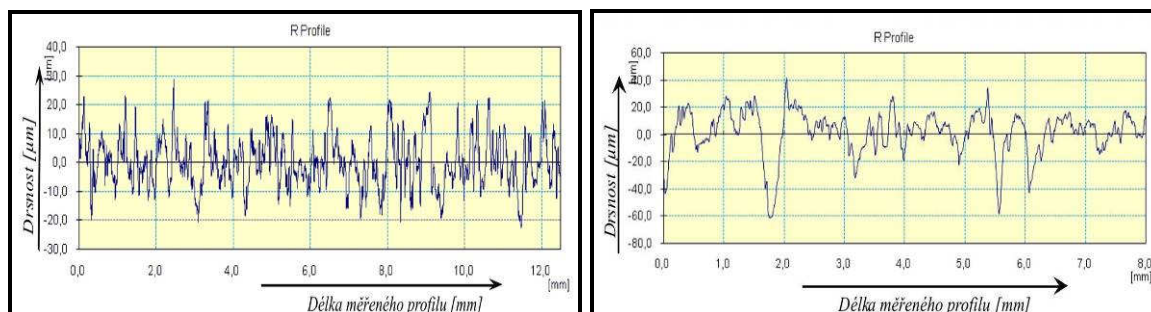
Work Name	Measuring Tool	Standard	Profile	Range
Sample	SurfTest SJ-301	ISO 1997	R	Auto
Operator	Comment	N	$\lambda_c$	Filter
Mitutoyo	Ver 2.1	5	2,5 mm	GAUSS



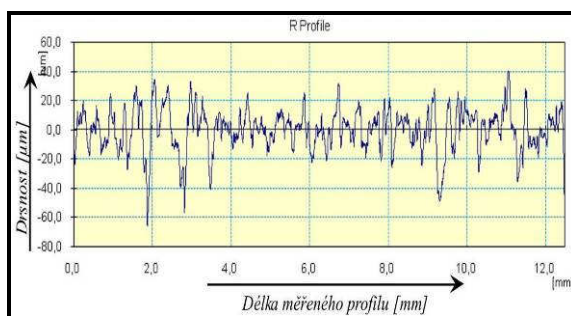
Níže jsou uvedeny průměrné hodnoty z deseti měření s grafem drsnosti. Naměřené hodnoty jsou zpracovány do tabulek a uvedeny v příloze č. 2.



**Graf. 1** Graf drsnosti povrchu podkladových materiálů,  
vlevo: Cor-ten A, vpravo: Cor-ten B



**Graf. 2** Graf drsnosti povrchu podkladových materiálů,  
vlevo: Atmosfix 24 let exp. (St 2), vpravo: Atmosfix 24 let exp. (Sa 1)



**Graf. 3** Graf drsnosti povrchu podkladového materiálu Atmosfix 24 let exp. (Sa 2)

**Tab. 21** Tabulka průměrných hodnot parametrů drsnosti povrchů podkladových materiálů

Podkladový materiál	Ra [μm]	Ry [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rp [μm]	Rv [μm]	Rsk [-]	Rku [-]
Cor-ten A	3,11	18,20	22,75	3,93	10,87	11,88	-	3,17
Cor-ten B	3,64	21,46	27,58	4,67	12,35	15,24	-	3,54
Atmosfix 24 let exp. (St 2)	7,28	35,21	45,97	9,14	23,40	22,56	+	2,86

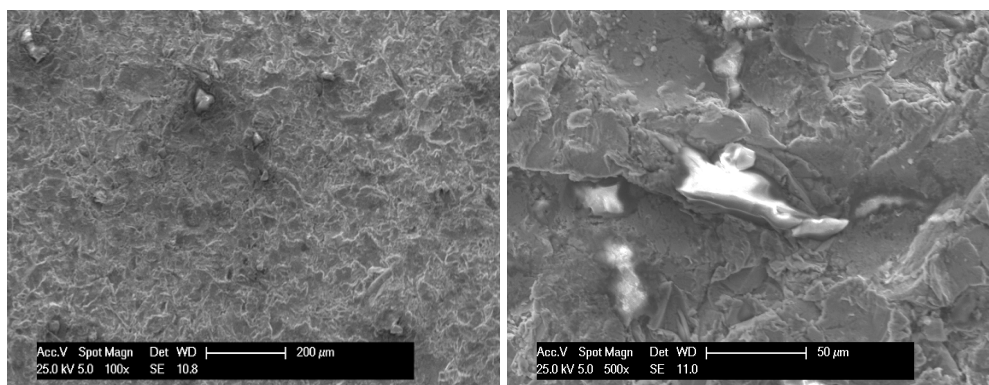
Podkladový materiál	Ra [μm]	Ry [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rp [μm]	Rv [μm]	Rsk [-]	Rku [-]
Atmofix 24 let exp. (Sa 1)	12,33	52,47	81,55	15,71	35,76	45,80	-	3,39
Atmofix 24 let exp. (Sa 2)	6,08	22,90	36,23	7,74	16,31	19,92	-	3,03

Z naměřených hodnot drsnosti otryskaných povrchů lze usuzovat, že touto předúpravou došlo k vytvoření dobrého kotvícího profilu. Vyplývá to z naměřených hodnot parametru Rz – *maximální výška profilu*, ale především z parametru Rsk – *šikmost posuzovaného profilu*, který vyjadřuje asymetrii rozložení výšek okolo střední hodnoty výšky povrchu vzorku. [49] V tomto případě je hodnota záporná, tudíž se vyznačuje povrch větší četností objektů menších než je střední výška, neboli na povrchu se objevuje více prohlubní. Lze tedy předpokládat, že tyto povrchy budou mít dobrou přilnavost nátěrových systémů, ale v některých případech může docházet k neúplnému vyplnění prohlubní nátěrovým systémem.

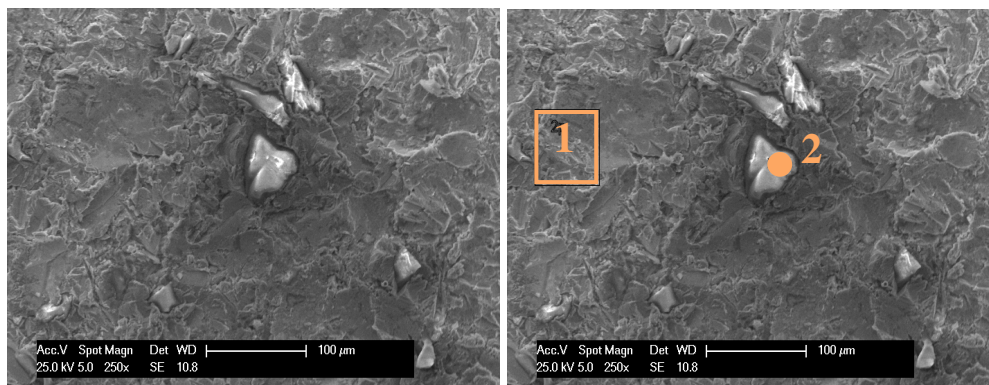
Povrch, který byl pouze kartáčován na stupeň přípravy povrchu St 2, bude z hlediska drsnosti vykazovat špatnou přilnavost nátěrových systémů. Na povrchu se vyskytují převážně výstupky, které mohou zapříčinit špatné zakotvení nátěrových systémů.

#### 8.4 SEM analýza povrchu materiálů

SEM analýza povrchu neboli skenovací elektronová mikroskopie byla provedena v Laboratoři elektronové mikroskopie Centra Nanotechnologií, VŠB-TU Ostrava na přístroji PHILLIPS XL30 Series.

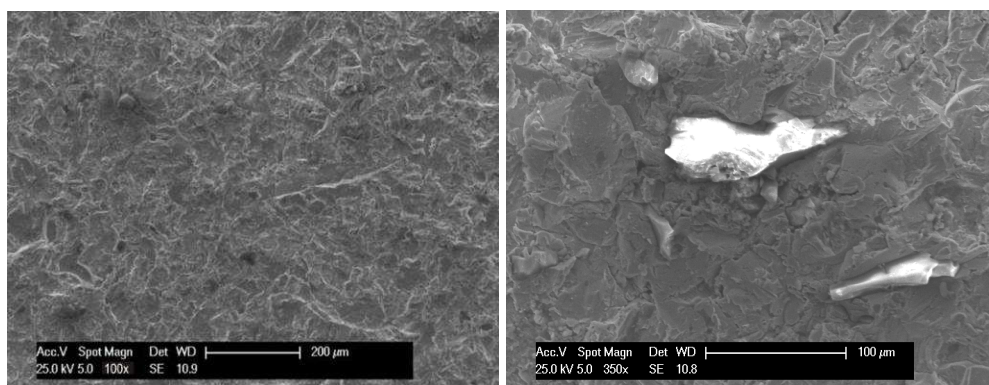


**Obr. 53a** Povrch vzorku Cor-ten A  
(vlevo: zvětšení 100x, vpravo: zvětšení 500x)



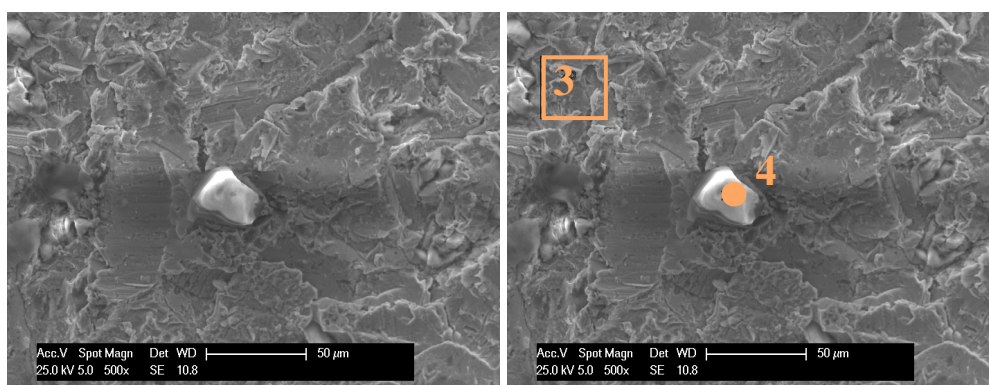
**Obr. 53b** Povrch vzorku Cor-ten A

(vlevo: zvětšení 250x, vpravo: zvětšení 250x s označením plochy  
a bodu chemického rozboru)



**Obr. 54a** Povrch vzorku Cor-ten B

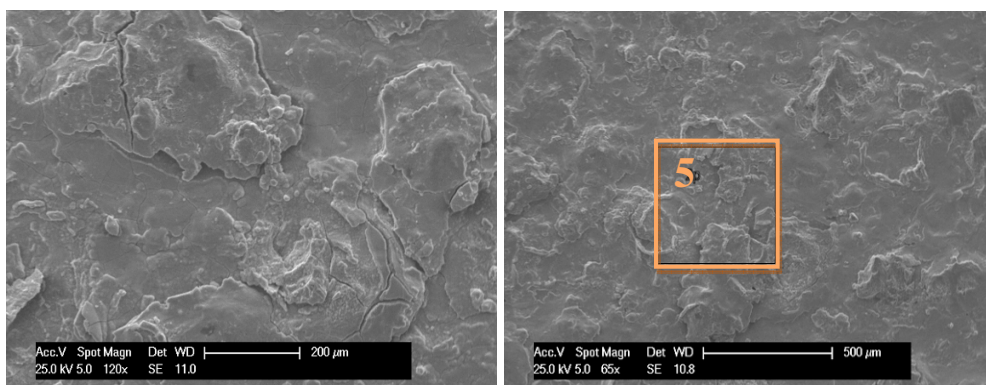
(vlevo: zvětšení 100x, vpravo: zvětšení 350x)



**Obr. 54b** Povrch vzorku Cor-ten B

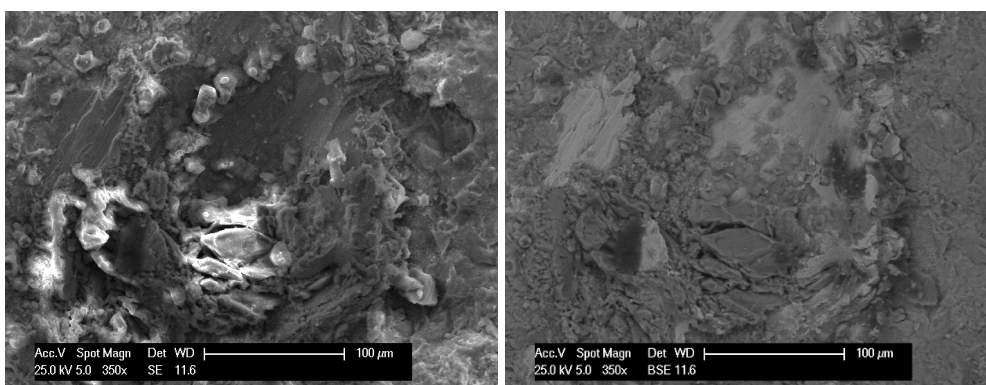
(vlevo: zvětšení 500x, vpravo: zvětšení 500x s označením plochy a bodu chemického  
rozboru)





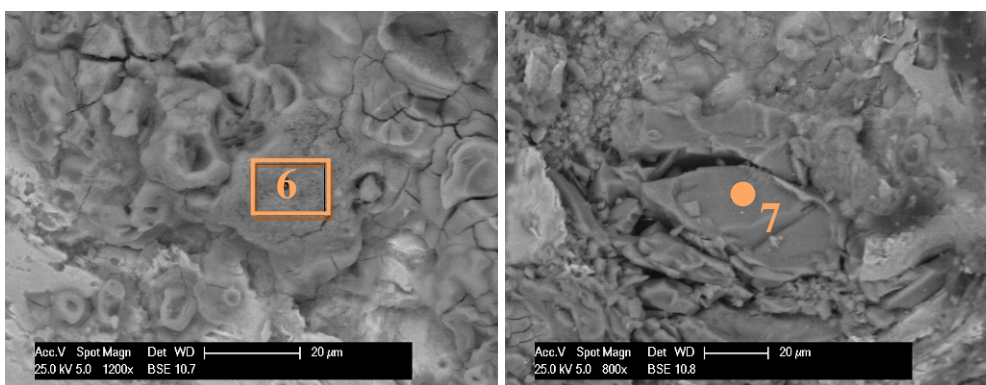
**Obr. 55** Povrch vzorku Atmofix 24 let exponovaný

(vlevo: zvětšení 120 x, vpravo: zvětšení 65x s označením plochy chemického rozboru)



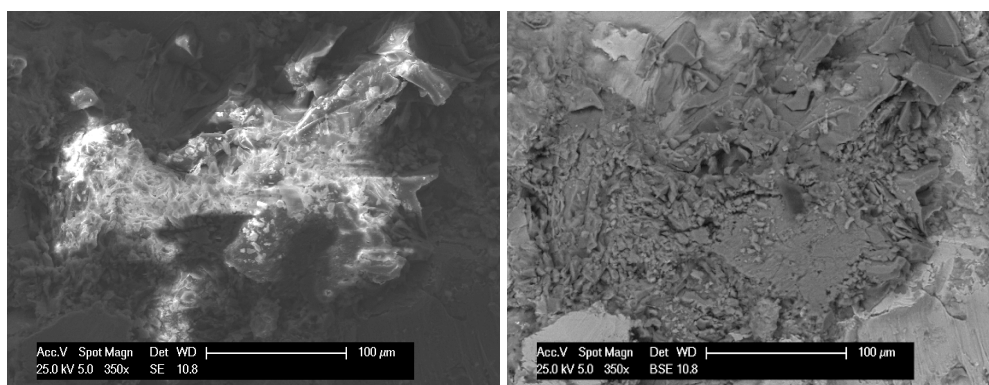
**Obr. 56a** Povrch vzorku Atmofix 24 let exp. otryskaný na stupeň přípravy povrchu Sa 1

(vlevo: zvětšení 350x, vpravo: zvětšení 350x)

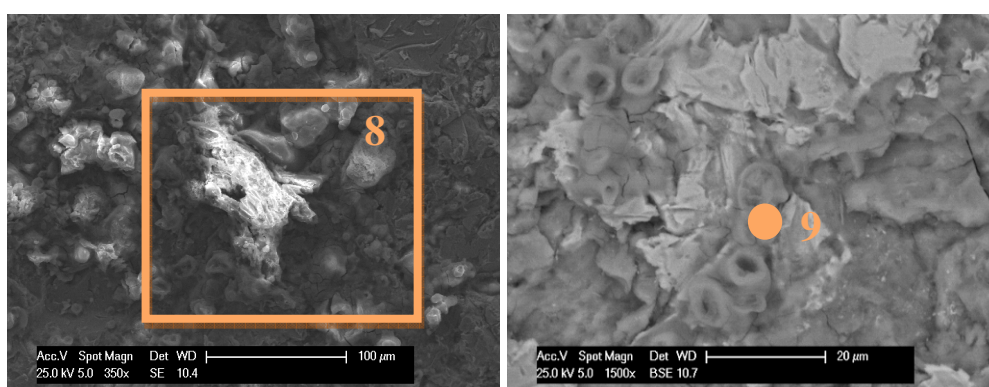


**Obr. 56b** Povrch vzorku Atmofix 24 let exp. otryskaný na stupeň přípravy povrchu Sa 1

(vlevo: zvětšení 1200x s označením plochy chemického rozboru, vpravo: zvětšení 800x s označením bodu chemického rozboru)



**Obr. 57a** Povrch vzorku Atmosfix 24 let exp. otryskaný na stupeň přípravy povrchu Sa 2  
(vlevo: zvětšení 350x, vpravo: zvětšení 350x)



**Obr. 57b** Povrch vzorku Atmosfix 24 let exp. otryskaný na stupeň přípravy povrchu Sa 2  
(vlevo: zvětšení 1200x s označením plochy chemického rozboru, vpravo: zvětšení 1500x  
s označením bodu chemického rozboru)

**Tab. 22** Chemické složení povrchu jednotlivých materiálů, A – Cor-ten A, B – Cor-ten B,  
C – Atmosfix 24 let exp. (St 2), D – Atmosfix 24 let exp. (Sa 1), E – Atmosfix 24 let exp. (Sa 2)

Chem. složení [Wt %]	A		B		C	D		E	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
C K	-	3,86	-	-	-	-	-	-	-
O K	8,31	27,93	5,41	36,09	28,45	1,83	22,08	3,27	3,02
Al K	4,13	12,96	3,56	14,49	-	-	3,21	0,90	-
Si K	4,86	20,16	3,12	21,84	-	-	9,20	2,59	-
Cr K	0,90	-	-	-	-	-	-	-	-
Fe K	81,8	28,41	87,92	20,09	71,55	98,17	49,12	88,04	96,98
Mg K	-	4,20	-	5,45	-	-	-	-	-
Ca K	-	1,21	-	0,94	-	-	16,39	5,51	-
Mn K	-	1,27	-	1,11	-	-	-	-	-

Při skenovací elektronové mikroskopii (SEM) se zjišťuje chemické složení zaměřením úzkého paprsku elektronů na zvolené měřené místo. Tato metoda měření není zcela přesná, protože legující prvky materiálu s obsahem pod 1 % se při analýze nezobrazí. Se stoupajícím obsahem se přesnost zvyšuje. Nevýhodou analýzy je také dopočet obsahu chemických prvků do 100 %, což zkresluje celkové měření.

Z fotodokumentace a chemických rozborů je patrné, že u podkladových materiálů otrýskaných na stupeň přípravy povrchu Sa 2 ½ došlo k zatryskání částic tryskacího média do povrchové vrstvy. Částice se na povrchu objevují zřídka, ale mohou negativně ovlivnit přilnavost nátěrových systémů. Naměřené chemické složení z důvodu nízkého obsahu legujících prvků se při analýze nezobrazilo.

Převážně se na površích podkladových materiálů Atmofix objevovaly oxidy. Objem oxidů byl závislý na typu předúpravy. Tyto oxidy mohou negativně ovlivnit přilnavost nátěrových systémů, ale mohou především snížit životnost protikorozi ochrany (PKO).

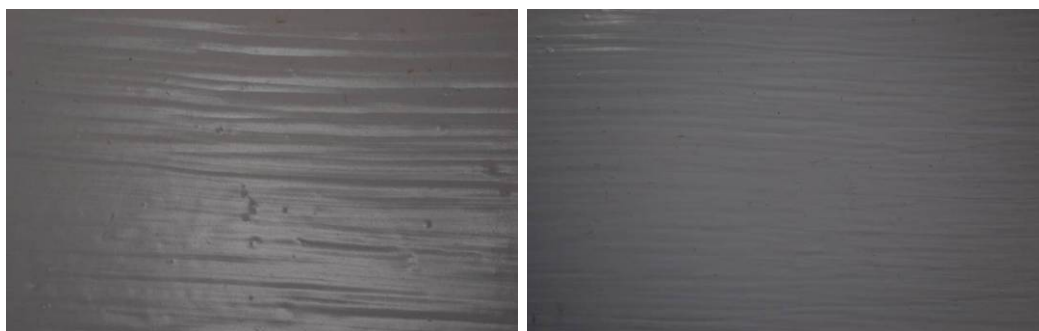
## **8.5 Zhotovení nátěrových filmů na ocelovém podkladu**

Aplikace nátěrových systémů (viz příloha č. 3 až 6) byla provedena štětcem na předem připravené vzorky o velikosti 100 x 150 x 3 mm.

Nátěrové systémy Amershield a Amercoat 450 S se velice dobře aplikovaly. Při aplikaci nátěrových systémů Amerlock 400 Al a Amerlock 400 Color zůstávaly na povrchu nátěrového filmu viditelné tahy po štětcí (viz obr. 58 a 59). Na základě konzultace s dodavatelem těchto nátěrových hmot se při namíchání barvy přidalo ředidlo. To mělo kladný vliv na aplikaci barev.



**Obr. 58** Fotodokumentace povrchu vzorku s nátěrovým systémem Amercoat 400 Al



**Obr. 59** Fotodokumentace povrchu vzorku s nátěrovým systémem Amercoat 400 Color

## 8.6 Stanovení tloušťky mokrého a suchého nátěrového filmu dle ČSN EN ISO 2808

Měření tloušťky mokrého a suchého nátěrového filmu se provedlo dle popisu uvedeného v kapitole 6.4.

**Tab. 23** Tloušťka mokrého nátěrového filmu

	Nátěrový systém			
	Amershield	Amercoat 450 S	Amerlock 400 Al	Amerlock 400 Color
Požadovaná tloušťka mokrého filmu výrobcem (dvě vrstvy) [μm]	320	170	236	228
Tloušťka mokrého nátěrového filmu v první vrstvě [μm]	175	100	125	125
Tloušťka mokrého nátěrového filmu v druhé vrstvě [μm]	150	75	125	125
Celková tloušťka aplikovaného mokrého filmu [μm]	325	175	250	250

Z tab. 23 je patrné, že nátěrové systémy byly aplikovány ve dvou vrstvách o celkové tloušťce mokré vrstvy o 5 μm více než požadovaná tloušťka mokrého filmu výrobcem. Tento rozdíl není však tolik podstatný, aby ovlivnil celkovou tloušťku suché vrstvy nátěrového systému. U nátěrových systémů Amerlock 400 Al a Amerlock 400 Color byl rozdíl vyšší. Přidáním ředidla k úpravě viskozity nedošlo k zásadnímu ovlivnění tloušťky suché vrstvy nátěrového systému.

Hodnoty tloušťky suchých vrstev nátěrových systémů jsou uvedeny v příloze č. 7 a zároveň v příloze č. 1 jsou naměřeny tloušťky patinující vrstvy. V těchto tabulkách byly

určeny maximální a minimální naměřené hodnoty z deseti měření. U nátěrových systémů je patrný rozptyl mezi hodnotami, který byl způsoben zvoleným typem aplikace. Z tohoto důvodu byla určena procentuální odchylka od požadované tloušťky suché vrstvy. U podkladových materiálů otryskaných na stupeň přípravy povrchu Sa 2 ½ byla odchylka max. do 10 %. U podkladových materiálů okartáčovaných na stupeň přípravy povrchu byla procentuální odchylka v některých případech vyšší, což mohlo být zapříčiněno nerovnoměrností vrstvy patiny, která ovlivnila samotné měření.

### **8.7 Korozní zkouška v umělé atmosféře – zkouška solnou mlhou dle ČSN EN ISO 9227**

Nátěrové systémy aplikované na podkladové materiály byly vloženy do korozní komory, kde byly exponovány v prostředí neutrální solné mlhy po celkovou dobu 1440 h. V průběhu expozice, byla provedena hodnocení v intervalech 0 h, 24 h, 96 h, 120 h, 240 h, 480 h, 720 h a 1440 h. Hodnocení nátěrových systémů je zpracované do tabulek a uvedeno v příloze č. 8. Zároveň byla provedena fotodokumentace v intervalech 0 h, 96 h, 120 h, 240h, 480 h, 720 h, a 1440 h, která je uvedena v příloze č. 15.

#### ***Orientační výpočet doby korozní odolnosti v prostředí s korozní agresivitou C5***

V případě, že se bude předpokládat maximální doba korozní odolnosti maximálně 10 let, v korozním prostředí o korozní agresivitě C5, odpovídá tato doba cca 720 hodinám expozice v korozní komoře v prostředí neutrální solné mlhy. [50]

**Tab. 24** Tabulka korozní odolnosti [50]

Korozní odolnost	
Simulovaná doba v korozní komoře	Skutečnost
720 h	cca 10 let
72 h	cca 1 rok
6 h	cca 1 měsíc



### **Expozice v korozní komoře**

Protože disertační práce je zaměřena na aplikaci nátěrových systémů na mostní konstrukce, je nutné uvažovat s co nejdelší dobou životnosti nátěrových systémů. Dle orientačního výpočtu doby korozní odolnosti viz tab. 24, je dnes požadovaná doba životnosti nátěrových systémů na mostních konstrukcích 15 až 20 let, což přibližně odpovídá 1440 hodinám expozice v korozní komoře.

Z nátěrových systémů aplikovaných na podkladový materiál Cor-ten A vykazovaly nejlepší protikorozní ochranu nátěrové systémy Amerlock 400 Al a Amerlock 400 Color, které po 1440 hodinách expozice v korozní komoře nevykazovaly žádná poškození nátěrového filmu typu puchýřů či prerezávání na vzorcích bez řezu. V případě porušení řezem bylo nejlepšího výsledku dosaženo u nátěrového systému Amerlock 400 Color, kde stupeň delaminace a koroze byl malý a v okolí řezu se vyskytl velmi malý počet defektů typu puchýřů o velikosti 0,5 až 5 mm. Nejhorší výsledky vykazoval nátěrový systém Amercoat 450 S, kde se na vzorcích bez řezu vyskytlo po 1440 h expozice v korozní komoře malé množství zřetelně viditelných defektů typu puchýřů o velikosti do 0,5 mm. Stupeň delaminace a koroze byl mírný a v okolí řezu se vyskytl mírný počet defektů typu puchýřů o velikosti větší než 5 mm. Zároveň se v okolí řezu vyskytl značný počet defektů typu puchýřů menších než 5 mm.



**Obr. 60** *Vzhled povrchu vzorků s aplikovanými nátěrovými systémy na podkladovém materiálu Cor-ten A, bez a s řezem po 1440 h expozice v korozní komoře  
(vlevo: nátěrový systém Amerlock 400 Color, vpravo: nátěrový systém Amercoat 450 S)*

Z nátěrových systémů aplikovaných na podkladový materiál Cor-ten B vykazovaly nejlepší protikorozní ochranu nátěrové systémy Amerlock 400 Al a Amerlock 400 Color,

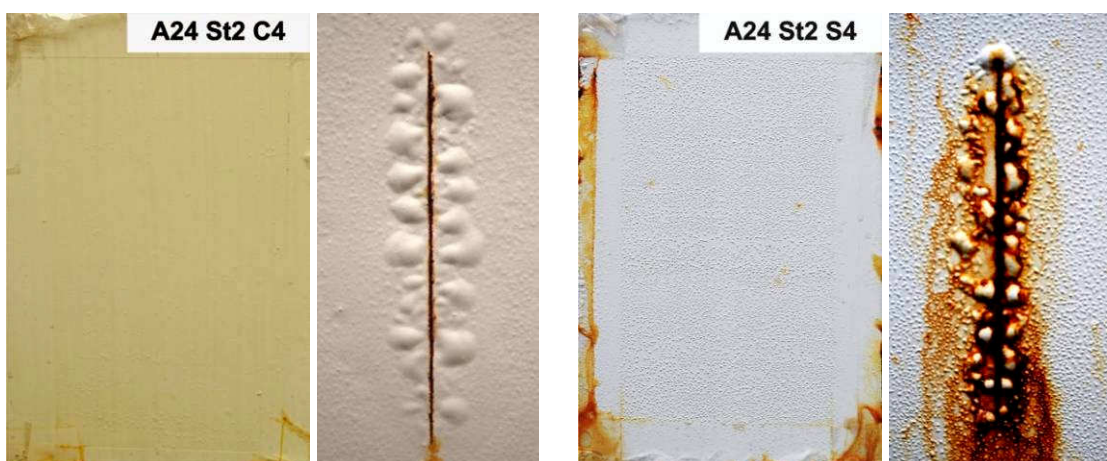


kteřé po 1440 hodinách expozice v korozní komoře nevykazovaly žádné poškození typu puchýřů či prorezavění na vzorcích bez řezu. V případě porušení řezem se nejlépe jevil nátěrový systém Amerlock 400 Al, kde stupeň delaminace a koroze byl velmi malý a v okolí řezu se vyskytl malý počet defektů typu puchýřů o velikosti větší než 5 mm. Nejhorší výsledky vykazoval nátěrový systém Amercoat 450 S, kde se vyskytl malý a viditelný počet defektů na vzorcích bez řezu. V případě porušení nátěrového filmu řezem došlo ke vzniku malé delaminace a koroze a v okolí řezu vznikl značný počet defektů typu puchýřů o velikosti větší než 5 mm. Zároveň se v okolí řezu vyskytly defekty typu puchýřů menších než 5 mm.



**Obr. 61** Vzhled povrchu vzorků s aplikovanými nátěrovými systémy na podkladovém materiálu Cor-ten B, bez a s řezem po 1440 h expozice v korozní komoře  
(vlevo: nátěrový systém Amerlock 400 Al, vpravo: nátěrový systém Amercoat 450 S)

Nátěrové systémy aplikované na podkladový materiál Atmosfix 24 let exp. (St 2) vykazovaly znatelné poškození nátěrového filmu po 1440 h expozice v korozní komoře. Dobré výsledky byly zaznamenány u nátěrového systému Amerlock 400 Color, kde se objevil značný počet defektů typu puchýřů viditelných okem. V případě poškození řezem byla delaminace a koroze malá a v okolí řezu se vyskytl značný počet defektů typu puchýřů o velikosti větší než 5 mm. Nejhorší výsledky byly zaznamenány u nátěrového systému Amercoat 450 S. Povrch vzorků bez řezu byl hustě pokryt defekty typu puchýřů o velikosti do 0,5 mm. V případě porušení řezem došlo ke vzniku malé delaminace a mírné koroze. V okolí řezu se vyskytl značný počet defektů typu puchýřů o velikosti větší než 5 mm.



**Obr. 62** Vzhled povrchu vzorků s aplikovanými nátěrovými systémy na podkladovém materiálu Atmofix 24 let exp. (St 2), bez a s řezem po 1440 h expozice v korozní komoře (vlevo: nátěrový systém Amerlock 400 Color, vpravo: nátěrový systém Amercoat 450 S)

Nátěrové systémy aplikované na podkladový materiál Atmofix 24 let exp. (Sa 1) vykazovaly znatelné poškození nátěrového filmu po 1440 h expozice v korozní komoře. Nejlépe se po expozici jevil nátěrový systém Amerlock 400 Al, kde se objevil mírný a viditelný počet defektů typu puchýřů na vzorcích bez porušení. V případě porušení došlo ke vzniku velmi malé delaminace a malého objemu koroze, ale okolí řezu bylo hustě pokryto defekty o velikosti nad 5 mm. Z hlediska porušení řezem vykazoval dobré výsledky nátěrový systém Amershield, kde došlo ke vzniku mírného počtu defektů o velikosti 0,5 mm až 5 mm.



**Obr. 63** Vzhled povrchu vzorků s aplikovanými nátěrovými systémy na podkladovém materiálu Atmofix 24 let exp. (Sa 1), bez a s řezem po 1440 h expozice v korozní komoře (vlevo: nátěrový systém Amerlock 400 Al, vpravo: nátěrový systém Amershield)

Z nátěrových systémů aplikovaných na podkladový materiál Atmofix 24 let exp. (Sa 2) vykazoval nejlepší výsledky nátěrový systém Amerlock 400 Al. Na vzorcích bez vytvořeného řezu nedošlo ke vzniku defektů typu puchýřů ani k prorezavění nátěrového filmu. V porušení řezem vznikla velmi malá delaminace a malý objem koroze a v okolí řezu vznikl mírný počet defektů typu puchýřů o velikosti nad 5 mm. Vyskytly se i puchýře o velikosti menší než 5 mm. V případě porušení řezem se lépe jevil nátěrový systém Amersshield, u kterého nedošlo k delaminaci a koroze byla velmi malá a objevil se malý počet defektů typu puchýřů o velikosti větší než 5 mm. Zároveň se objevily i puchýře menší než 5 mm.



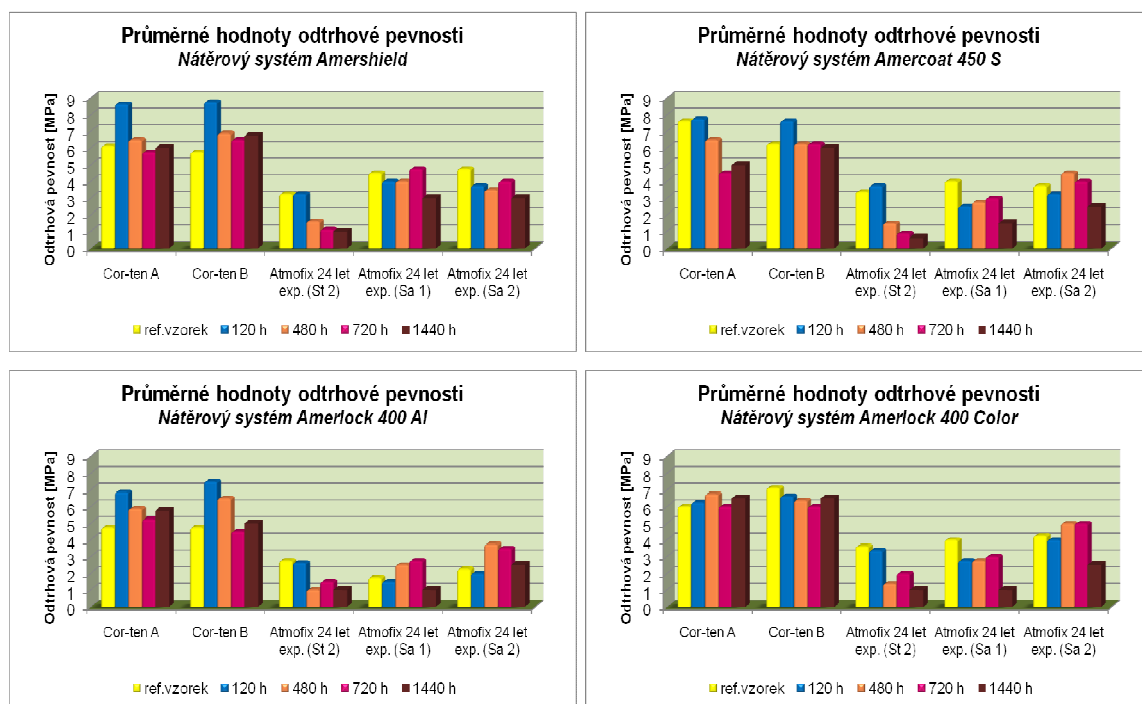
**Obr. 64** Vzhled povrchu vzorků s aplikovanými nátěrovými systémy na podkladový materiál Atmofix 24 let exp. (Sa 2), bez a s řezem po 1440 h expozice v korozní komoře (vlevo: nátěrový systém Amerlock 400 Al, vpravo: nátěrový systém Amersshield)

Výsledky korozní odolnosti nátěrových systémů v prostředí neutrální solné mlhy poukazují na zásadní vliv přeúpravy povrchu před aplikací nátěrových systémů. V případě otrýskání povrchu na stupeň přípravy Sa 2 ½, je životnosti aplikovaných nátěrových systémů vyšší než při pouhém okartáčování povrchu na stupeň přípravy St 2. Všeobecně lze říci, že lepší vlastnosti mají epoxidové nátěrové hmoty (Amerlock 400 Al, Amerlock 400 Color). Dle TKP 19 B se mostní konstrukce navrhuje do prostředí s korozní agresivitou C4, tudíž lze tedy teoreticky předpokládat, že dosažené výsledky v reálných podmínkách budou lepší.

#### **Odtrhová zkouška přilnavosti dle ČSN EN ISO 16276-1**

Odtrhová zkouška přilnavosti byla provedena a hodnocena dle normy ČSN EN ISO 16276-1, viz popis zkoušky v kap. 6. 13. Průměrné hodnoty odtrhové

pevnosti a hodnocení charakteristiky lomů pro jednotlivé nátěrové systémy jsou zpracovány do tabulek uvedené v příloze č. 12. Zároveň jsou průměrné hodnoty odtrhové pevnosti zpracovány do níže uvedených grafů. Odtrhová zkouška byla provedena v intervalu expozice v korozní komoře 0 h, 120 h, 480 h, 720 h a 1440 h.



**Graf 4** Průměrné hodnoty odtrhové pevnosti nátěrových systémů

Nejllepší přilnavost vykazovaly nátěrové systémy aplikované na podkladové materiály Cor-ten (A, B), které byly otrýskány na stupeň přípravy povrchu Sa 2 ½. Podle stupně přípravy povrchu dále klesala průměrná odtrhová pevnost. Jen u nátěrového systému Amershield byla průměrná odtrhová pevnost velmi podobná jako u vzorků otrýskaných na stupeň přípravy povrchu Sa 1 a Sa 2.

Nejllepších výsledků na podkladových materiálech Cor-ten (A, B) dosahovaly nátěrové systémy Amershield a Amerlock 400 Color, kde se průměrná odtrhová pevnost po 1440 h expozice v korozní komoře pohybovala mezi 6 až 7 MPa. U nátěrového systému Amershield docházelo převážně k adheznímu lomu mezi podkladovým materiálem a první aplikovanou vrstvou. U nátěrového systému Amerlock 400 Color docházelo k adheznímu charakteristickému lomu mezi vrchním nátěrem a lepidlem ale také ke koheznímu lomu ve vrchním nátěrovém filmu.

Na podkladových materiálech Atmofix 24 let exp. otrýskaných na stupeň přípravy povrchu Sa 1 a Sa 2 se do 720 hodin expozice v korozní komoře pohybovala průměrná odtrhová pevnost od 2 do 5 MPa. Přilnavost byla ovlivněna předúpravou povrchu, protože



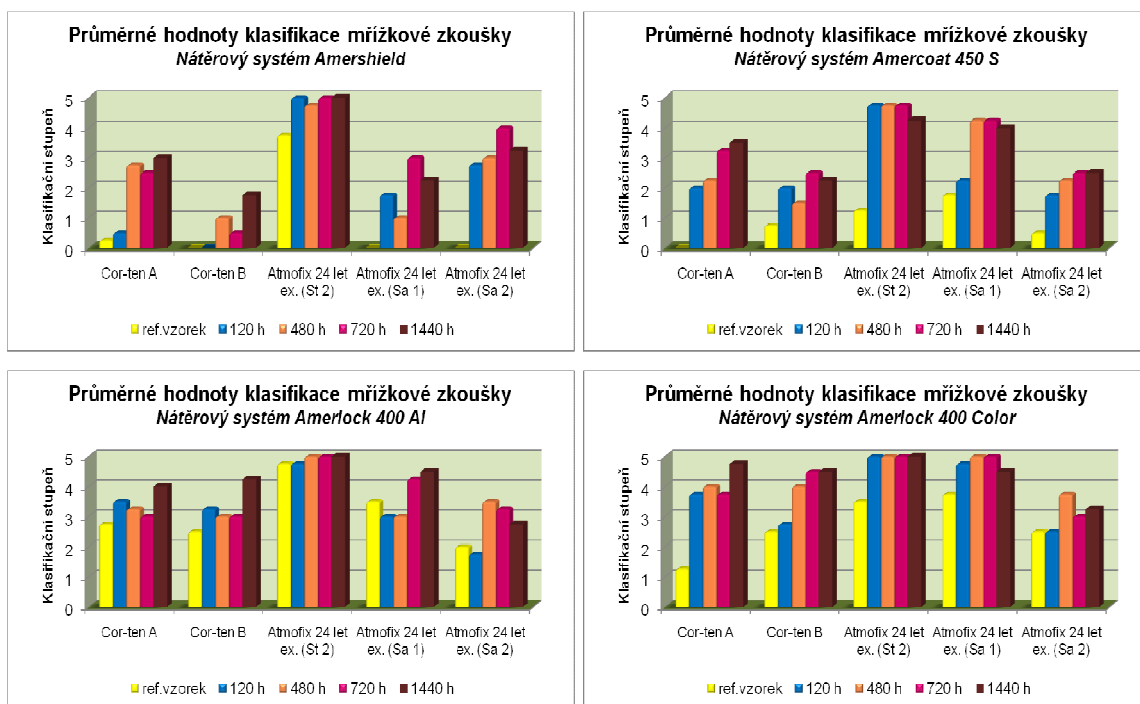
u vzorků otrýskaných na stupeň přípravy Sa 1 byla nižší než u vzorků otrýskaných na stupeň přípravy Sa 2. Po expozici 1440 h v korozní komoře došlo k poklesu u všech nátěrových systémů a průměrná odtrhová pevnost se pohybovala mezi 1 až 3 MPa. Nejlepších hodnot v průběhu vykazoval nátěrový systém Amershield, kde se průměrná odtrhová pevnost pohybovala na obou podkladových materiálech mezi 3 až 5 MPa. Tento výsledek se hodnotí jako kladný, jelikož 3 MPa jsou hraniční hodnotou pro posouzení, zda nátěr má dobrou přilnavost. Pod touto hodnotou se nátěrový systém hodnotí negativně. V průměru docházelo ke koheznímu lomu v podkladu. Nejhorší výsledky byly dosaženy u nátěrového systému Amerlock 400 Al, kde se odtrhová pevnost v průběhu zkoušky pohybovala od 1 do 3,75 MPa a převážně docházelo ke koheznímu porušení druhé vrstvy nátěrového systému.

Nátěrové systémy aplikované na podkladový materiál Atmofix 24 let exp. (St 2) do 120 h expozice v korozní komoře vykazovaly průměrnou odtrhovou pevnost těsně nad 3 MPa. S prodloužením doby expozice v korozní komoře odtrhová pevnost poklesla a pohybovala se v rozmezí 1 až 2 MPa. Zároveň docházelo převážně ke koheznímu lomu v podkladovém materiálu. Tento poznatek řadí předúpravu povrchu kartáčováním na stupeň přípravy povrchu St 2, z hlediska zajištění dlouhodobé životnosti nátěrových systémů cca 20 let za nedostačující.

### ***Mřížková zkouška přilnavosti dle ČSN EN ISO 16276-2***

Mřížková zkouška přilnavosti byla provedena a hodnocena dle normy ČSN EN ISO 2409, viz popis zkoušky v kap. 6. 14. Průměrné hodnoty klasifikace mřížkové zkoušky a naměřené hodnoty jsou zpracovány do tabulek v příloze č. 13. Níže jsou uvedeny grafy s průměrnými hodnotami klasifikace mřížkové zkoušky.

Z grafu 5 je patrné, že nejlepších hodnot klasifikace mřížkové zkoušky dosáhl nátěrový systém Amershield aplikovaný na podkladový materiál Cor-ten (A, B). Po expozici 1440 h v korozní komoře vykazoval nátěrový systém na podkladovém materiálu Cor-ten B poškození podél řezů a při jejich křížení a povrch mřížky byl poškozen mezi 5 až 15 % celkové plochy (*klasifikační stupeň 2*). Na podkladovém materiálu Cor-ten A byl nátěrový systém poškozen v rozích, podél řezů částečně nebo zcela a celková plocha poškození mřížky se pohybovala kolem 15 až 35 % (*klasifikační stupeň 3*). Velmi podobné výsledky vykazoval i nátěrový systém Amercoat 450 S. Ostatní nátěrové systémy vykazovaly poškození plochy mřížky mezi 35 až 65 % i více (*klasifikační stupeň 4 až 5*).



**Graf 5** Průměrné hodnoty klasifikace mřížkové zkoušky přilnavosti

U podkladových materiálů Atmofix 24 let otrýskané na stupeň přípravy povrchu Sa 1 a Sa 2 se projevila kvalita předúpravy. Nátěrové systémy měly lepší přilnavost (po 1440 h expozice v korozní komoře) na podkladových materiálech otrýskaných na stupeň přípravy Sa 2. Nejlepší přilnavost vykazoval nátěrový systém Amercoat 450 S, kde byl nátěrový systém poškozen v rozích podél řezů částečně nebo zcela a plocha poškození mřížky byla od 5 do 35 % (klasifikační stupeň 2 až 3). Pouze u nátěrového systému Amershield byla přilnavost na podkladových materiálech otrýskaných na stupeň přípravy povrchu Sa 1 vyšší a pohybovala se mezi 5 až 35 % plochy mřížky (klasifikační stupeň 2 až 3).

U podkladového materiálu Atmofix 24 let exp. (St 2) měly všechny nátěrové systémy velmi špatnou přilnavost, poškození mřížky bylo větší než 65 % (klasifikační stupeň 5).

### Vyhodnocení

Pro samotné posouzení nátěrových systémů je nutné zvážit nejen korozní odolnost, ale také přilnavost nátěrových systémů. Nátěrový systém Amercoat 450 S z korozního hlediska a z hlediska přilnavosti vykazoval nejhorší výsledky. Z testovaných nátěrových systémů je nejméně vhodný pro aplikace na mostní konstrukce, kde se požaduje dlouhodobá protikorozní ochrana.



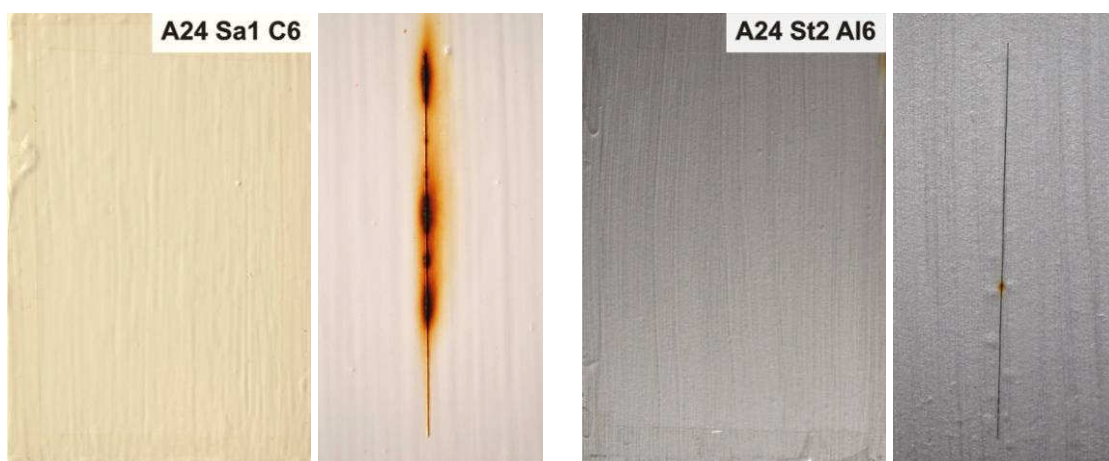
Nejlepší výsledky vykazovaly nátěrové systémy epoxidové (Amerlock Al, Amerlock Color) z hlediska protikorozní ochrany. Přílnavost těchto nátěrů byla ovšem nižší než u polyuretanových nátěrových systémů (Amershield, Amercoat 450 S). Při zhodnocení všech výsledků se lépe jevil nátěrový systém Amershield, který sice byl mírně horší z protikorozního hlediska, ale i po expozici 1440 h v korozní komoře vykazoval dobrou odtrhovou pevnost na všech podkladových materiálech, kromě podkladového materiálu Atmofix 24 let exp. (St 2). Převážně docházelo k adheznímu poškození mezi podkladem a první aplikovanou vrstvou nátěrového filmu nebo ke koheznímu poškození v podkladu.

Příprava povrchu u podkladového materiálu Atmofix 24 let exp. (St 2), z hlediska zajištění dlouhodobé protikorozní ochrany je nedostačující, protože při expozici dochází ke vzniku velkého počtu defektů typu puchýřů o velikosti 0,5 mm a více. Zároveň přílnavost nátěrových systémů je špatná, převážně docházelo ke koheznímu lomu v podkladu.

## **8.8 Ponorová zkouška v solicím roztoku**

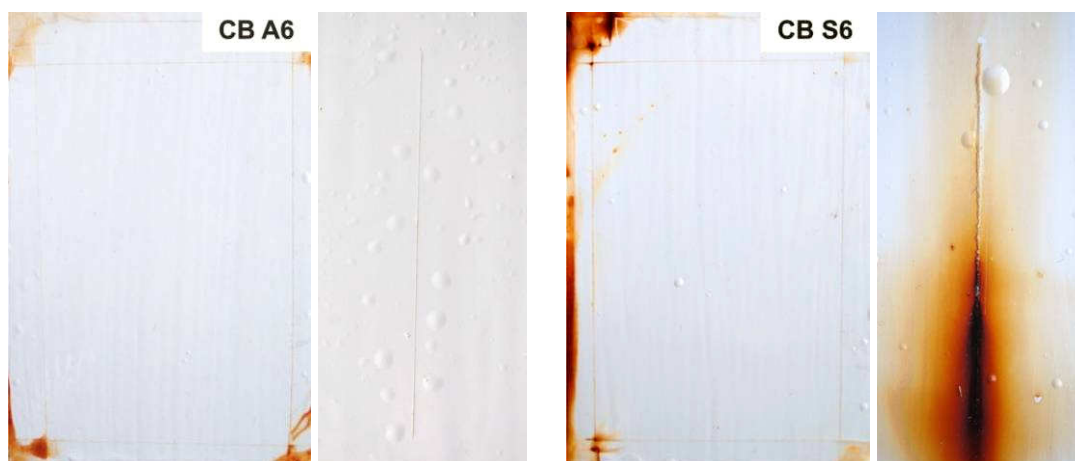
Nátěrové systémy aplikované na podkladové materiály byly umístěny do nádob s roztokem posypové soli a vody v ředícím poměru 1:4. Celková doba expozice v roztoku byla 6 měsíců. V průběhu zkoušky bylo prováděno hodnocení a fotodokumentace v intervalu 0 měsíců, 3 měsíce a 6 měsíců. Hodnocení nátěrových systémů je zpracované do tabulek a uvedené v příloze č. 9. Fotodokumentace je uvedena v příloze č. 16.

Velmi dobré výsledky v průběhu expozice v solicím roztoku vykazovaly nátěrové systémy epoxidové (Amerlock 400 Color, Amerlock 400 Al). U nátěrových systémů, na všech podkladových materiálech, nedošlo k žádnému poškození typu puchýřů nebo prorezavění na vzorcích bez řezu. V případě poškození řezem došlo pouze ke vzniku velmi malé koroze v okolí řezu, ale nedocházelo k delaminaci a nevznikly žádné defekty typu puchýřů. Pouze u nátěrového systému Amerlock 400 Al, aplikovaného na podkladový materiál Atmofix 24 let exp. (St 2), vznikl malý, ale důležitý počet defektů typu puchýřů o velikosti 0,5 až 5 mm, viz obr. 65. U nátěrového systému Amerlock 400 Color došlo ke změně barvy v okolí řezu způsobené korozí.



**Obr. 65** Vzhled povrchu vzorků s aplikovanými nátěrovými systémy bez a s řezem po 6 měsících expozice v solné lázni  
(vlevo: nátěrový systém Amerlock 400 Color, vpravo: nátěrový systém Amerlock 400 Al)

Nátěrové systémy polyuretanové (Amershiel, Amercoat 450 S) vykazovaly horší výsledky. U nátěrového systému Amershiel nedošlo k žádnému poškození typu puchýřů nebo proražení na vzorcích bez řezu. V případě porušení řezem, došlo ke zniku puchýřů, které byly o velikosti okolo 0,5 až 5 mm. Tyto puchýře se nevyskytly na podkladovém materiálu Cor-ten A. U nátěrového systému Amercoat 450 S vznikly defekty typu puchýřů v okolí řezu, ale také na vzorcích bez vytvořeného řezu.

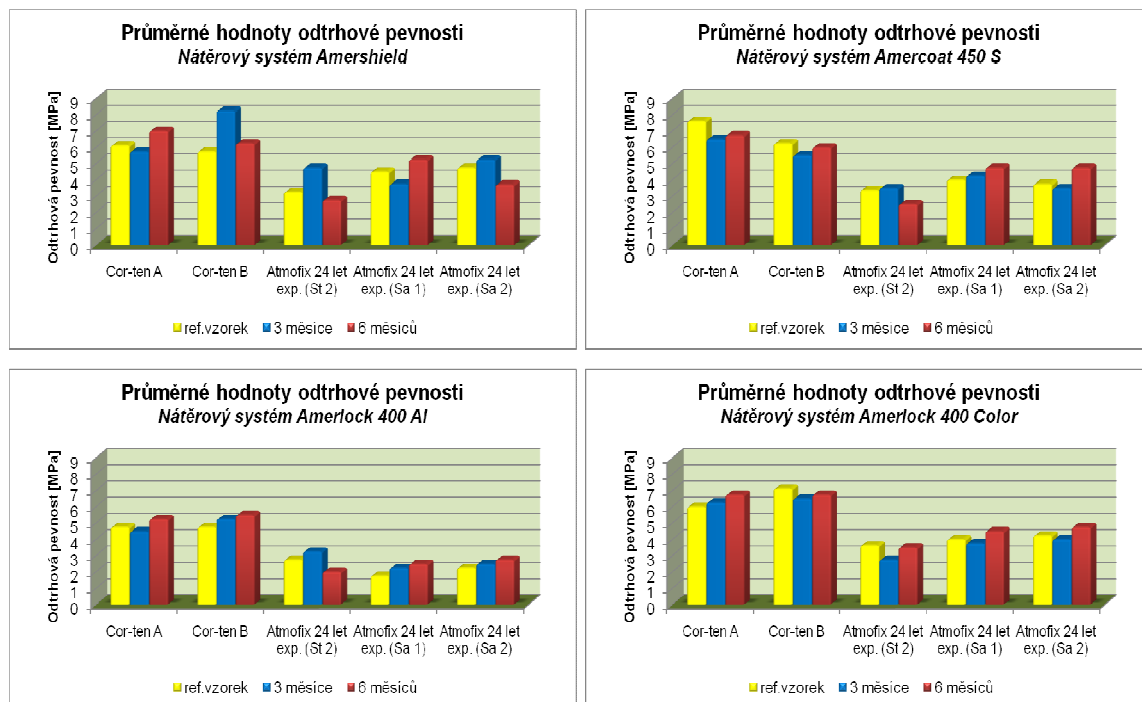


**Obr. 66** Vzhled povrchu vzorků s aplikovanými nátěrovými systémy bez a s řezem po 6 měsících expozice v solné lázni  
(vlevo: nátěrový systém Amershiel, vpravo: nátěrový systém Amercoat 450 S)

Tyto výsledky poukazují na lepší odolnost epoxidových nátěrových systémů vůči působení solících roztoků.

## Odrhová zkouška přilnavosti dle ČSN EN ISO 16276-1

Odrhová zkouška přilnavosti byla provedena a hodnocena dle normy ČSN EN ISO 16276-1, viz popis zkoušky v kap. 6. 13. Průměrné hodnoty odtrhové pevnosti a hodnocení charakteristiky lomů pro jednotlivé nátěrové systémy jsou zpracovány do tabulek uvedené v příloze č. 12. Zároveň jsou průměrné hodnoty odtrhové pevnosti níže graficky znázorněny.



**Graf 6** Průměrné hodnoty odtrhové pevnosti nátěrových systémů

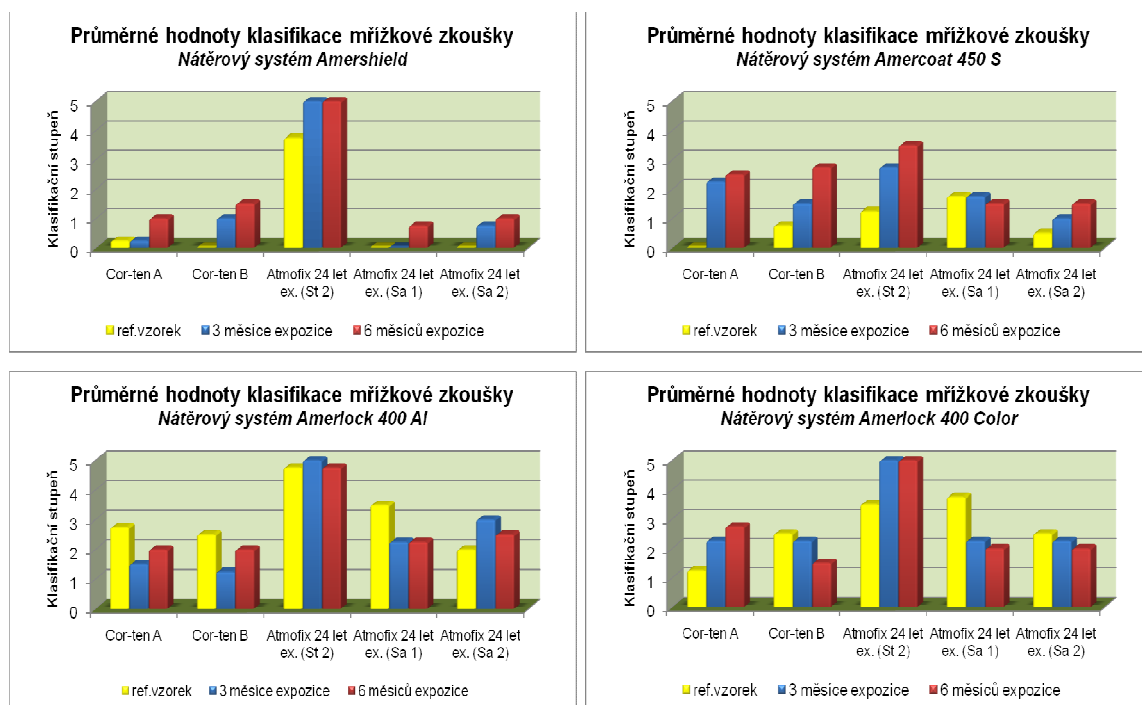
Nátěrové systémy aplikované na podkladové materiály Cor-ten (A, B) vykazovaly po 6 měsících expozice v solícím roztoku dobrou přilnavost. Průměrná odtrhová pevnost se pohybovala v rozmezí 5 až 7 MPa. U nátěrových systémů Amerlock 400 Color a Amershield docházelo především k adheznímu lomu mezi druhou aplikovanou vrstvou nátěrového filmu a lepidlem nebo mezi lepidlem a zkušebním válečkem. Tento výsledek poukazuje na velmi dobrou přilnavost nátěrového systému.

Nátěrové systémy aplikované na podkladový materiál Atmofix 24 let exp. (St 2) vykazovaly nízkou průměrnou odtrhovou pevnost, která se pohybovala pod hodnotou 3 MPa. U nátěrového systému Amerlock 400 Color byla průměrná hodnota odtrhové pevnosti 3,5 MPa. Převážně docházelo ke koheznímu poškození v podkladovém materiálu. U podkladových materiálů Atmofix 24 let exp. otryskaných na stupeň přípravy povrchu Sa 1 a Sa 2 byly výsledky velmi podobné. Průměrná odtrhová pevnost se pohybovala

v rozmezí 3 až 5 MPa a převážně docházelo k adheznímu lomu mezi podkladem a první aplikovanou vrstvou nátěrového systému nebo k adheznímu lomu mezi druhou aplikovanou vrstvou a lepidlem. U nátěrového systému Amerlock 400 Al byla průměrná odtrhová pevnost pod hodnotou 3 MPa, což je hraniční hodnota pro posouzení, zda nátěrový systém má dobrou přilnavost. Z větší části docházelo k adheznímu lomu mezi druhou aplikovanou vrstvou nátěrového systému a lepidlem.

### Mřížková zkouška přilnavosti dle ČSN EN ISO 16276-2

Mřížková zkouška přilnavosti byla provedena a hodnocena dle normy ČSN EN ISO 2409, viz popis zkoušky v kap. 6. 14. Průměrné hodnoty klasifikace mřížkové zkoušky a naměřené hodnoty jsou zpracovány do tabulek, které jsou uvedeny v příloze č. 13. Níže jsou uvedeny grafy s průměrnými hodnotami klasifikace mřížkové zkoušky.



**Graf 7 Průměrné hodnoty klasifikace mřížkové zkoušky přilnavosti**

Z grafu 7 je patrné, že velmi dobré výsledky vykazoval nátěrový systém Amershield, kde v průměru došlo k nepatrnému poškození mřížky, a celková plocha poškození mřížky byla do 5 % (klasifikační stupeň 1). Tento výsledek nebyl dosažen pouze u podkladového materiálu Atmofix 24 let exp. (St 2), kde poškození plochy mřížky bylo větší než 65 % (klasifikační stupeň 5).

U ostatních nátěrových systémů bylo poškození velmi podobné. V průměru se poškození mřížky pohybovalo od 5 % do 35 % (*klasifikační stupeň 2 až 3*), což se bere jako dobrý výsledek. Na podkladových materiálech Atmofix 24 let exp. (St 2) byly výsledky nejhorší.

### **Vyhodnocení**

V praxi většinou nedochází k tomu, že nátěrové systémy jsou vystaveny dlouhodobému ponoru přímo v solícím roztoku. Většinou se jedná o povrchovou vodu, která může obsahovat posypovou sůl, ale vlivem naředění vodou je obsah velmi malý. V reálném prostředí budou u nátěrových systémů vznikat vady nátěrového filmu teoreticky v delším časovém intervalu.

V případě celkového posouzení expozice v solícím roztoku lze konstatovat, že aplikace nátěrových systémů na podkladové materiály Atmofix 24 let exp. (St 2) se ukazuje za méně vhodnou. Nejlepší výsledky byly dosaženy u nátěrového systému Amerlock 400 Color. U nátěrového systému nedošlo ke vzniku defektů typu puchýřů ani k prorezavění. Koroze v okolí poškození řezem byla velmi malá a nedošlo ke vzniku puchýřů v okolí řezu. Přílnavost nátěrového systému byla dobrá. V průměru docházelo k adheznímu lomu mezi druhou aplikovanou vrstvou nátěrového filmu a lepidlem, a průměrná odtrhová pevnost se pohybovala mezi 4 až 7 MPa. Poškození mřížky při mřížkové zkoušce bylo v rozmezí od 5 % do 35 % celkové plochy mřížky.

## **8.9 Urychlená atmosférická zkouška s postřikem solícího roztoku – „Scab test“**

Vzorky s aplikovanými nátěrovými systémy byly exponovány na atmosférické zkušební stanici v areálu VŠB-TU Ostrava o korozní agresivitě prostředí C2 (viz obr. 67).

Nátěrové systémy byly vystaveny působení postřiku roztokem posypové soli a vody v ředícím poměru 1:4. Celková doba expozice byla 6 měsíců. V průběhu bylo prováděno hodnocení a fotodokumentace v intervalu 0 měsíců, 3 měsíce a 6 měsíců. Hodnocení nátěrových systémů je zpracované do tabulek a uvedené v příloze č. 10. Fotodokumentace je uvedena v příloze č. 17.





**Obr. 67** Atmosferická zkušební stanice v areálu VŠB-TU Ostrava

Všechny nátěrové systémy po působení postřiku solícího roztoku 1x denně nevykazovaly žádné značné poškození na vzorcích bez řezu po 6 měsících. V případě porušení řezem u nátěrového systému Amerlock 400 Color došlo ke vzniku velmi malé koroze bez vzniku puchýřů v okolí řezu (viz obr. 68). Puchýře v okolí řezu vznikly pouze u nátěrového systému Amercoat 450 S, v malém množství a o velikosti do 0,5 mm.

Celkově lze konstatovat, že až na nátěrový systém Amercoat 450 S, postřik solícím roztokem po dobu 6 měsíců neměl zásadní vliv na ochrannou vlastnost nátěrových systémů.



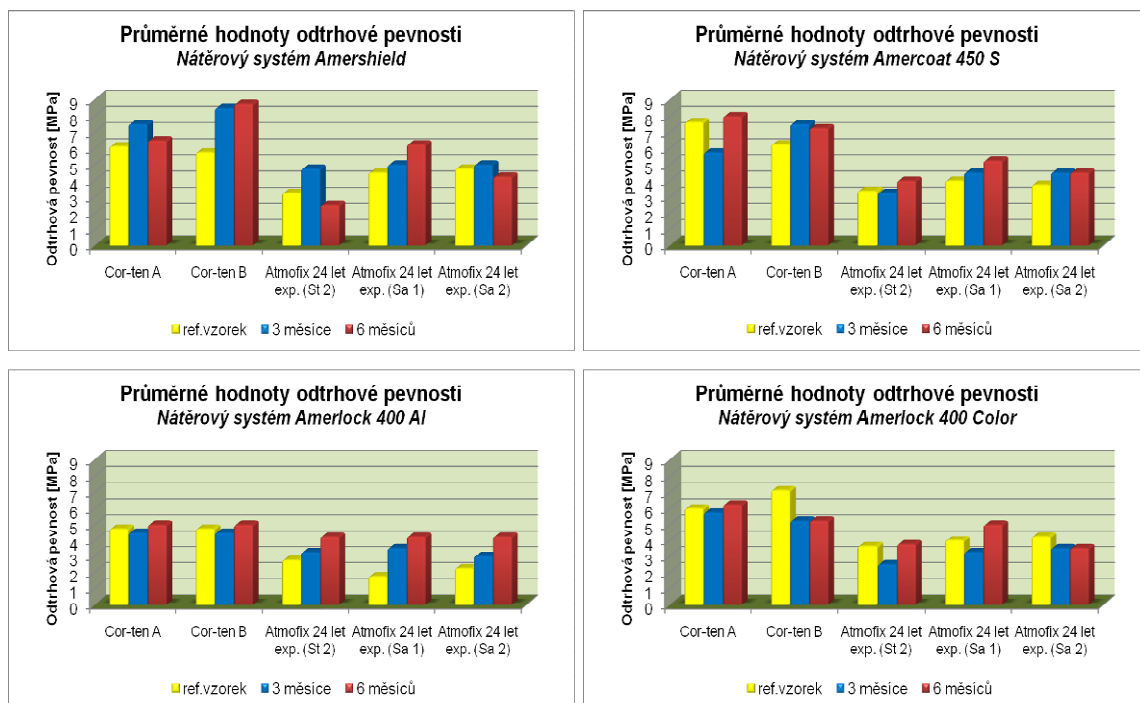
**Obr. 68** Vzhled povrchu vzorků s aplikovanými nátěrovými systémy bez a s řezem po 6 měsících expozice v solné lázni

(vlevo: nátěrový systém Amerlock 400 Color, vpravo: nátěrový systém Amercoat 450 S)

## Odtrhová zkouška přilnavosti dle ČSN EN ISO 16276-1

Odtrhová zkouška přilnavosti byla provedena a hodnocena dle normy ČSN EN ISO 16276-1, viz popis zkoušky v kap. 6. 13. Průměrné hodnoty odtrhové pevnosti a hodnocení charakteristiky lomů pro jednotlivé nátěrové systémy jsou zpracovány do tabulek uvedené v příloze č. 12. a průměrné hodnoty odtrhové pevnosti jsou níže zároveň graficky znázorněny.

Z grafu 9 je patrné, že nejlepší výsledky průměrné odtrhové pevnosti bylo dosaženo na podkladových materiálech Cor-ten (A, B), které byly otryskány na stupeň přípravy povrchu Sa 2 ½. Dobré výsledky vykazoval nátěrový systém Amershield a Amercoat 450 S, kde se průměrná odtrhová pevnost pohybovala v rozmezí od 7 do 9 MPa. V průměru docházelo k adheznímu lomu mezi druhou aplikovanou vrstvou nátěrového systému a lepidlem. Tento výsledek poukazuje na velmi dobrou přilnavost nátěrových systémů. Nátěrový systém Amerlock 400 Color měl průměrné hodnoty odtrhové pevnosti nižší (5 až 6 MPa) a taktéž docházelo k adheznímu lomu mezi druhou vrstvou nátěrového systému a lepidlem. V případě nátěrového systému Amerlock 400 Al (průměrná odtrhová pevnost 4 až 5 MPa) docházelo ke koheznímu lomu v druhé aplikované vrstvě nátěrového systému.



**Graf 9** Průměrné hodnoty odtrhové pevnosti nátěrových systémů

U podkladových materiálů Atmofix 24 let exp. (Sa 1 a Sa 2) se průměrná odtrhová pevnost po 6-ti měsících postřiku solícím roztokem pohybovala v rozmezí od 3 do 6 MPa.

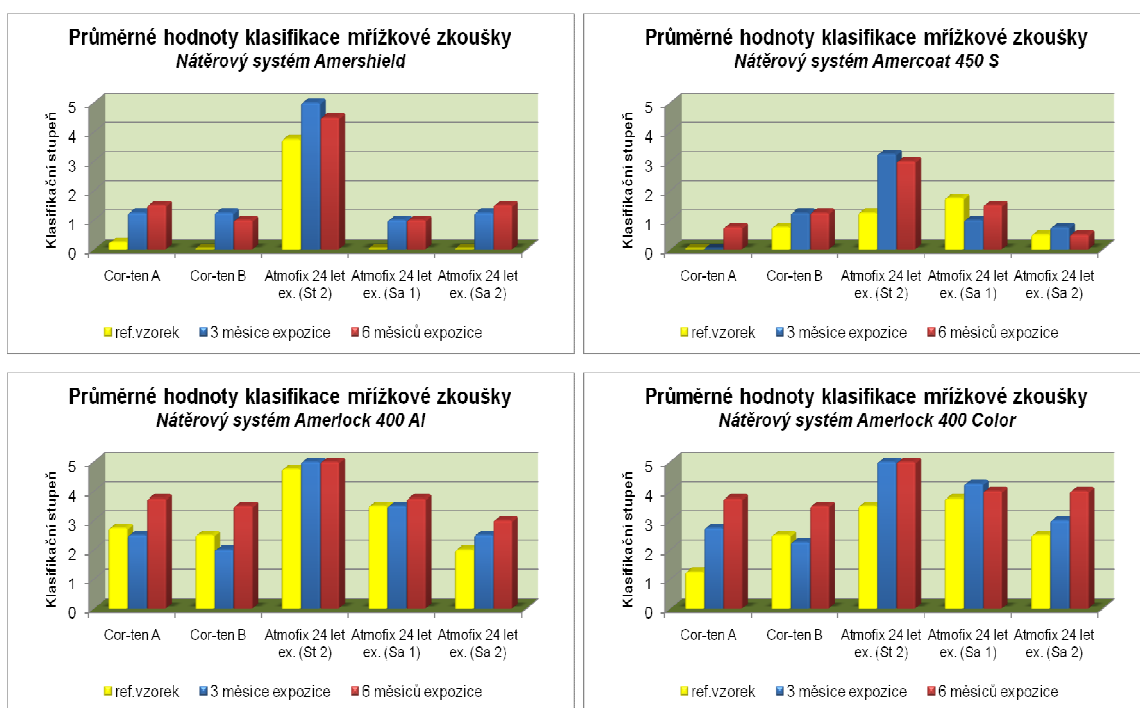
U nátěrových systémů Amerlock 400 Color a Amershield docházelo převážně k adheznímu lomu mezi druhou aplikovanou vrstvou a lepidlem, což poukazuje na vyšší přilnavost nátěrových systémů. U nátěrového systému Amerlock 400 Al docházelo převážně ke koheznímu lomu v druhé aplikované vrstvě nátěrového systému a u nátěrového systému Amercoat 450 S převážně ke koheznímu lomu v podkladu.

Nátěrové systémy aplikované na podkladové materiály Atmofix 24 let exp. (St 2) měly nižší přilnavost 2 až 4 MPa a převážně docházelo ke koheznímu lomu v podkladu.

### Mřížková zkouška přilnavosti dle ČSN EN ISO 16276-2

Mřížková zkouška přilnavosti byla provedena a hodnocena dle normy ČSN EN ISO 2409, viz popis zkoušky v kap. 6. 14. Průměrné hodnoty klasifikace mřížkové zkoušky a naměřené hodnoty jsou zpracovány do tabulek, které jsou uvedeny v příloze č. 13. Níže jsou uvedeny grafy s průměrnými hodnotami klasifikace mřížkové zkoušky.

Z grafu 10 je patrné, že velmi dobré výsledky vykazoval nátěrový systém Amershield a Amercoat 450 S, kde v průměru došlo k nepatrnému poškození mřížky a celková plocha poškození mřížky byla do 5 % (klasifikační stupeň 1). Tento výsledek nebyl dosažen pouze u podkladového materiálu Atmofix 24 let exp. (St 2), kde bylo poškození plochy mřížky vyšší.



Graf 10 Průměrné hodnoty klasifikace mřížkové zkoušky přilnavosti

U nátěrových systémů Amerlock 400 Al a Amerlock 400 Color bylo poškození velmi podobné. V průměru se poškození mřížky pohybovalo od 15 % do 65 % (*klasifikační stupeň 3 až 4*). Na podkladových materiálech Atmofix 24 let exp. (St 2) byly poškození plochy mřížky vyšší než 65 % (*klasifikační stupeň 5*).

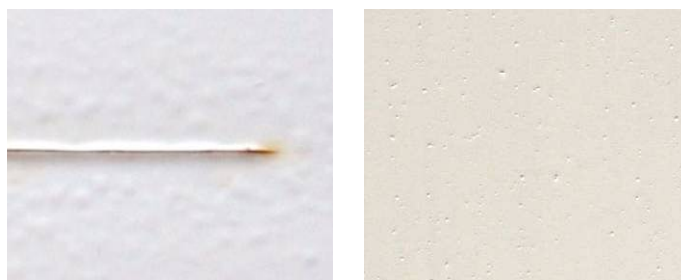
### **Vyhodnocení**

Po 6-ti měsících působení postřiku solického roztoku se nejlépe jevil nátěrový systém Amershield. Tento nátěrový systém nevykazoval po expozici žádné změny nátěrového filmu typu puchýřů či koroze. Přilnavost nátěrového systému byla dobrá a převážně docházelo k adheznímu lomu mezi druhou aplikovanou vrstvou a lepidlem, což nasvědčuje tomu, že nátěrový systém má ještě vyšší přilnavost. Z hlediska porušení řezů při mřížkové zkoušce byla plocha porušení mřížky maximálně do 5 % (*klasifikační stupeň 1*). Pouze u podkladových materiálů Atmofix 24 let exp. (St 2) byla plocha porušení mřížky větší než 65 % (*klasifikační stupeň 5*).

### **8.10 Zrychlená ponorová zkouška odolnosti nátěru proti podkorodování dle ČSN 67 3087**

Po každém cyklu bylo provedeno vizuální hodnocení a fotodokumentace. Pro každý cyklus byla připravena sada vzorků, na kterých byla provedena mřížková zkouška přilnavosti a odtrhová zkouška přilnavosti.

Tabulka s vizuálním hodnocením puchýřkování, prerezávání, delaminace a koroze v okolí řezu a puchýřkování v okolí řezu je uvedena v příloze č. 11. Z hodnot je patrné, že nátěrové systémy mají velmi dobrou odolnost, protože nedošlo k jejich významnému poškození povlaků nátěrových systémů. Pouze u nátěrového systému Amercoat 450 S došlo k významnému vzniku puchýřů na podkladovém materiálu Cor-ten B s mírným počtem defektů, které byly viditelné prostým okem. Na podkladovém materiálu Atmofix 24 let exp. (St 2) došlo k výskytu puchýřů v okolí řezu, kdy povrch byl hustě pokryt defekty, které byly viditelné pouze při zvětšení do desetinásobku (viz obr. 69).

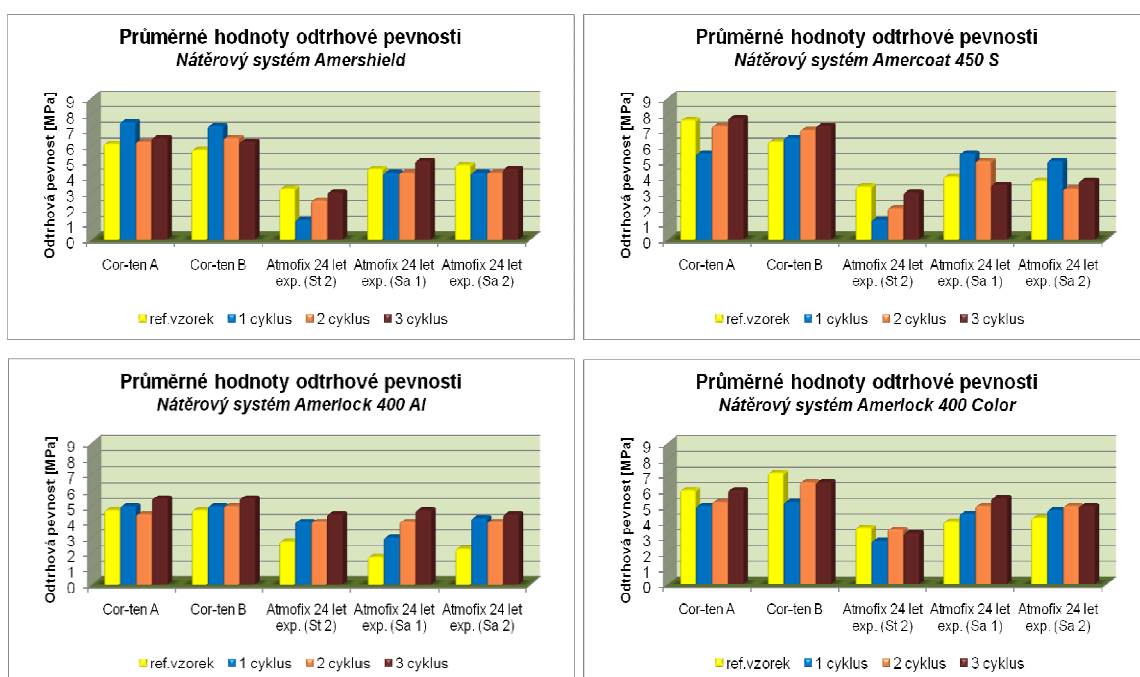


**Obr. 69** Vzhled vzniklých puchýřů na vzorcích s aplikovaným nátěrovým systémem Amercoat 450 S, vlevo: podkladový materiál Atmofix 24 let exp. (St 2), vpravo: podkladový materiál Cor-ten B.

Protože nedošlo ke změnám vzhledu, vzniku puchýřů, atd., fotodokumentace v příloze č. 18 je uvedena pouze pro 0. cyklus a 3. cyklus.

### Odtrhová zkouška přilnavosti dle ČSN EN ISO 16276-1

Odtrhová zkouška přilnavosti byla provedena a hodnocena dle normy ČSN EN ISO 16276-1, viz popis zkoušky v kap. 6. 13. Průměrné hodnoty odtrhové pevnosti byly pro každý nátěrový systém zpracovány do grafu. Naměřené hodnoty odtrhové pevnosti a klasifikace charakteristiky lomů je uvedena v tabulkách v příloze č. 12.



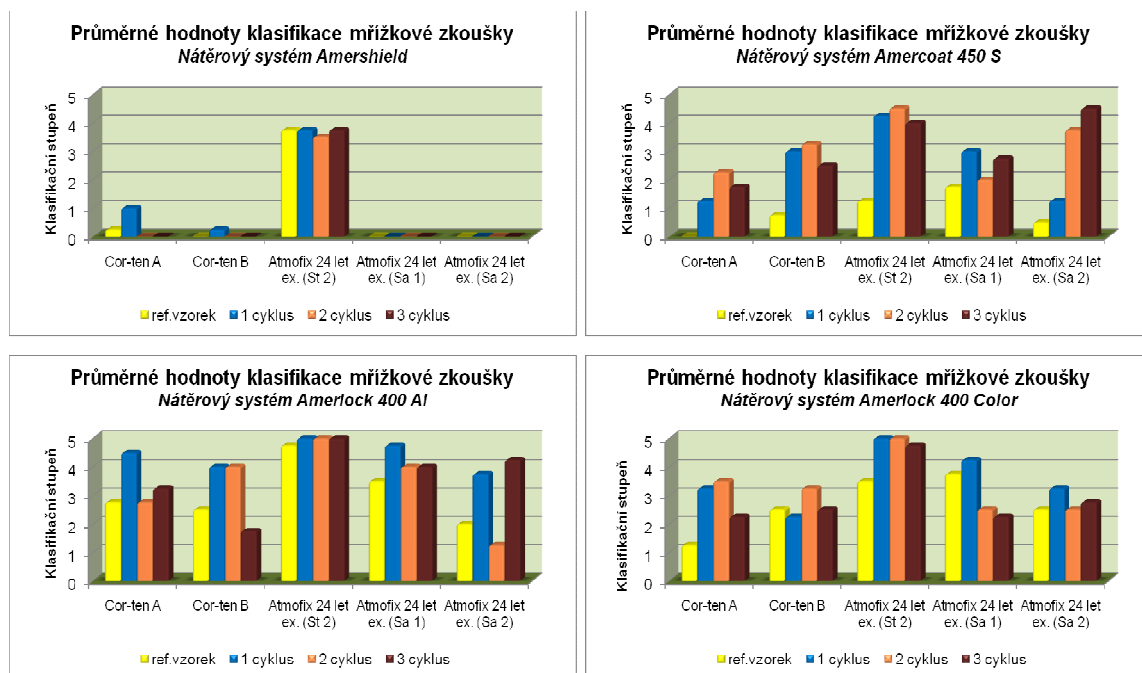
**Graf 11** – Průměrné hodnoty odtrhové pevnosti nátěrových systémů

Z grafu 11 je patrné, že nejlepších hodnot odtrhové pevnosti dosáhl nátěrový systém Amercoat 450 S na podkladových materiálech Cor-ten (A, B). Průměrná odtrhová pevnost po třetím cyklu expozice v kyselém prostředí se pohybovala kolem hodnoty 7 MPa. K charakteristickému lomu docházelo převážně mezi podkladovým materiálem a první aplikovanou vrstvou nátěrového systému (podkladový materiál Cor-ten A) nebo mezi lepidlem a zkušebním válečkem (podkladový materiál Cor-ten B). Nejhorších hodnot bylo dosaženo na podkladových materiálech Atmofix 24 let exp. (St 2), kdy průměrná hodnota se pohybovala kolem 3 MPa. U nátěrového systému Amerlock 400 Al dokonce kolem 4 MPa. K charakteristickému lomu však docházelo převážně v patinující vrstvě nebo mezi podkladem a první aplikovanou vrstvou nátěrového systému.

Změna přilnavosti mezi jednotlivými cykly, při expozici v kyselém prostředí zrychlené ponorové zkoušky, nebyla zásadní a spíše tato expozice nijak zásadně neovlivnila přilnavost nátěrových systémů.

### Mřížková zkouška přilnavosti dle ČSN EN ISO 16276-2

Mřížková zkouška přilnavosti byla provedena a hodnocena dle normy ČSN EN ISO 2409, viz popis zkoušky v kap. 6. 14. Průměrné hodnoty klasifikace mřížkové zkoušky byly pro každý nátěrový systém zpracovány do grafu.



**Graf 12** Průměrné hodnoty klasifikace mřížkové zkoušky přilnavosti



Z grafu 12 je patrné, že nejlepších výsledků po provedení mřížkové zkoušky bylo dosaženo nátěrovým systémem Amershield, který na všech podkladových materiálech kromě podkladového materiálu Atmofix 24 let exp. (St 2) vykazoval nulové poškození, kdy řezy byly zcela hladké a žádný čtverec nebyl poškozen.

### Vyhodnocení

Z celkových výsledků získaných po provedení ponorové zkoušky vyplývá, že nejlepších výsledků dosahoval nátěrový systém Amershield. Průměrná hodnota odtrhové pevnosti byla nižší než u nátěrového systému Amercoat 450 S a při expozici v kyselé lázni nedošlo ke vzniku žádných vad typu puchýřů, prorezavění, atd. Dobrou přilnavost potvrzuje i provedená mřížková zkouška přilnavosti.

Nátěrový systém Amershield vykazoval velice dobré výsledky nejen na podkladových materiálech Cor-ten (A, B) ale i podkladových materiálech Atmofix 24 let exp (Sa 1, Sa 2). Průměrná odtrhová pevnost se pohybovala mezi 4 až 5 MPa, což je hodnoceno jako dobrá přilnavost. Převážně docházelo k charakteristickému lomu mezi lepidlem a zkušebním tělískem. To vypovídá o tom, že nátěrový systém má ještě vyšší přilnavost než naměřené hodnoty.

### 8.11 Stanovení obsahu těkavých organických látek v nátěrových hmotách gravimetrickou metodou

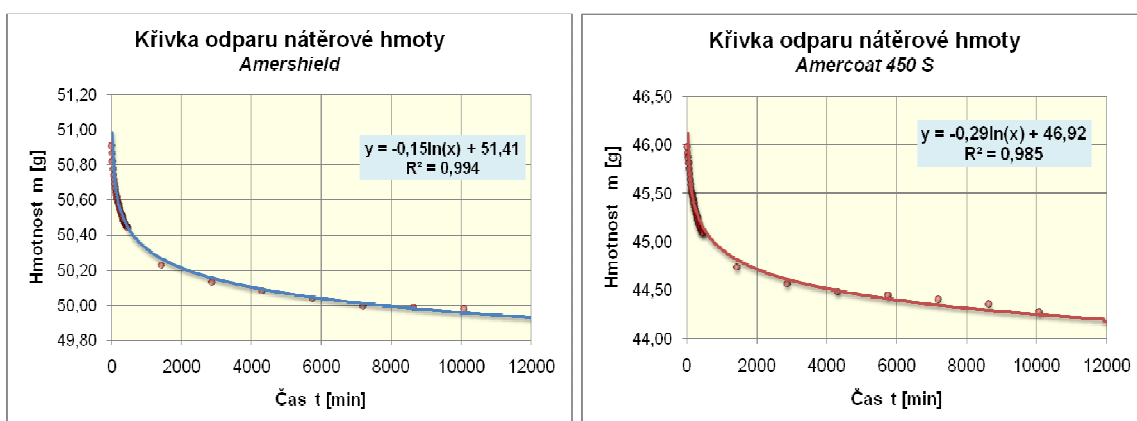
Naměřené hodnoty úbytku hmotnosti pro jednotlivé nátěrové hmoty jsou uvedeny v tabulce v příloze č. 14, a zároveň je uvedena tabulka se vstupními parametry pro určení obsahu VOC látek v nátěrových systémech.

**Tab. 25** – Vypočtené hodnoty hustoty, obsahu VOC látek a obsahu sušiny nátěrových systémů

Nátěrová hmota		Hustota [g·cm <sup>-3</sup> ]	VOC [g·l <sup>-1</sup> ]	Obsah sušiny [% hm.]
Amershield	Vypočteno	1,43	171,99	87,96
	Údaj výrobce	1,20 – 1,4	185,00	79,00 *
Amercoat 450 S	Vypočteno	1,23	299,93	75,61
	Údaj výrobce	1,36	386,00	58,00 *

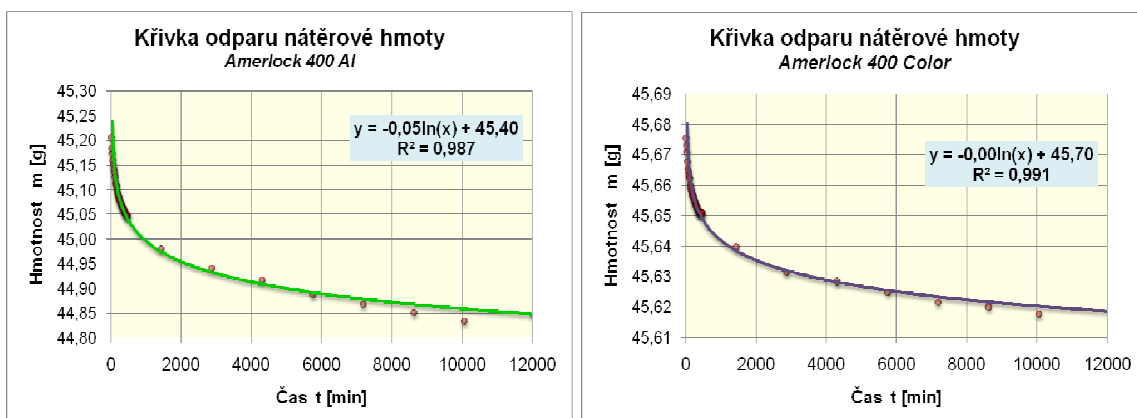
Nátěrová hmota		Hustota [g·cm <sup>-3</sup> ]	VOC [g·l <sup>-1</sup> ]	Obsah sušiny [% hm.]
Amerlock 400 Al	Vypočteno	1,10	67,25	93,90
	Údaj výrobce	1,31	150,00	85,00 *
Amerlock 400 Color	Vypočteno	1,00	23,16	98,89
	Údaj výrobce	1,30 – 1,50	106,00	87,00 *

\* V technickém listě nátěrového systému není uvedeno, zda se jedná o hm. % nebo obj. %.



**Graf 13a** Křivky odparu nátěrových hmot

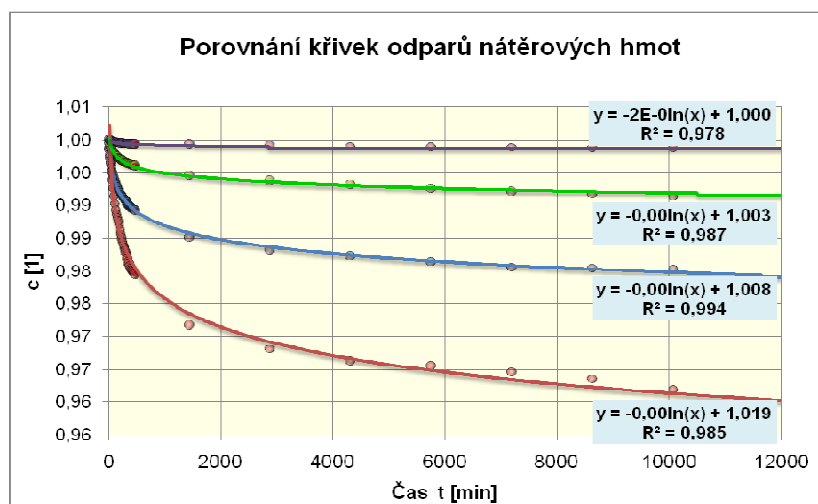
(vlevo: Amershield, vpravo: Amercoat 450 S)



**Graf 13b** Křivky odparu nátěrových hmot

(vlevo: Amerlock 400 Al, vpravo: Amerlock 400 Color)

## Porovnání křivek odparů nátěrových hmot



Graf 14 Porovnání křivek odparu nátěrových hmot

— Amercoat 450 S — Amershield — Amerlock 400 Al — Amerlock 400 Color

Stanovení obsahu těkavých organických látek (VOC) poukazuje na nižší obsah VOC látek u epoxidových nátěrových hmot než u polyuretanových nátěrových hmot. U nátěrových hmot Amercoat 450 S, Amerlock 400 Al a Amerlock 400 Color je viditelný rozdíl mezi hodnotami naměřenými a udanými výrobcem. U nátěrové hmoty Amershield byla zkouška provedena společně s ostatními nátěrovými hmotami, ale vzorek pro zkoušku byl odebrán z nového neotevřeného obalu nátěrové hmoty.

Zkouškou se potvrdilo, že nejlepších hodnot bylo dosaženo u nátěrových systémů epoxidových (*Amerlock 400 Color*, *Amerlock 400 Al*), kde obsah VOC látek byl nejnižší. Nejhorších výsledků dosáhl nátěrový systém Amercoat 450 S, který je nejméně šetrný k životnímu prostředí ze všech testovaných nátěrových hmot.

## 9. Závěr

Disertační práce se zabývá vlivem použití ochranných povlaků na životnost mostních konstrukcí z patinujících ocelí. Tyto oceli za vhodných atmosférických podmínek nevyžadují povrchovou úpravu. V případě, že patinující oceli jsou vystaveny vysoké vlhkosti nebo dalším negativním vlivům, je nutné povrch chránit před degradací např. nátěrovými systémy. Disertační práce je rozdělena do dvou částí, a to do teoretické části a experimentální části.

Teoretická část je rozdělena do dvou kapitol. První kapitola popisuje vývoj, vlastnosti patinujících ocelí, tvorbu oxidické vrstvy – patiny, negativní vlastnosti a použití patinujících ocelí. Druhá kapitola pojednává o nátěrových systémech, jejich vlastnostech, předúpravě povrchu a aplikaci, složení, údržbě, obsahem VOC látek v nátěrových systémech, atd.

Experimentální část disertační práce v první části charakterizuje postup jednotlivých prováděných zkoušek, které jsou poté vyhodnoceny. Jednotlivé práce byly zaměřeny na testování nátěrových systémů alkydových (Amershield a Amercoat 450 S) a epoxidových (Amerlock 400 Al a Amerlock 400 Color) aplikovaných na podkladové materiály otryskané na stupeň přípravy povrchu Sa 2 ½, Sa 2, Sa 1 a okartáčované na stupeň přípravy povrchu St 2.

Korozní zkouška v umělé atmosféře po 1440 h expozice v korozní komoře poukázala na dobré vlastnosti nátěrových systémů epoxidových (Amerlock 400 Al, Amerlock 400 Color) z hlediska protikoroze ochrany, avšak přilnavost těchto systémů je nižší než u polyuretanových systémů. Nátěrový systém Amershield měl horší výsledky z protikorozeního hlediska, ale i po expozici 1440 h v korozní komoře vykazoval dobrou odtrhovou pevnost na všech podkladových materiálech, kromě podkladového materiálu Atmofix 24 let exp. (St 2). Převážně docházelo k adheznímu poškození mezi podkladem a první aplikovanou vrstvou nátěrového filmu nebo ke koheznímu poškození v podkladu.

Po šesti měsíční ponorové zkoušce v solícím roztoku vykazoval nejlepší výsledky nátěrový systém Amercoat 400 Color, kdy nedošlo ke vzniku žádných defektů typu puchýřů či prorezavění, jen k mírné změně barvy nátěrového systému v okolí řezu způsobené uvolněnou korozí z řezu. V průměru docházelo k adheznímu lomu mezi druhou aplikovanou vrstvou nátěrového filmu a lepidlem. Poškození mřížky při mřížkové zkoušce bylo v rozmezí od 5 % do 35 % celkové plochy mřížky.

Po šesti měsíčním působení postřiku solícího roztoku vykazoval nejlepší výsledky nátěrový systém Amershield, kdy nedošlo ke vzniku žádných defektů typu puchýřů

či prorezavění. Přílnavost nátěrových systémů byla dobrá a převážně docházelo k adheznímu lomu mezi druhou aplikovanou vrstvou a lepidlem. Poškození mřížky při mřížkové zkoušce bylo do 5 % celkové plochy mřížky. Pouze u podkladových materiálů Atmofix 24 let exp. (St 2) byla plocha porušení mřížky větší než 65 %.

Po zrychlené ponorové zkoušce odolnosti nátěru proti podkorodování vykazoval nejlepší výsledky nátěrový systém Amershield, u kterého při expozici v kyselé lázni nedošlo ke vzniku žádných vad typu puchýřů, prorezavění, atd. Přílnavost nátěrových systémů byla dobrá a převážně docházelo k adheznímu lomu mezi lepidlem a zkušebním válečkem.

Nátěrový systém Amershield vykazoval velice dobré výsledky nejen na podkladových materiálech Cor-ten (A, B), ale i podkladových materiálech Atmofix 24 let exp (Sa 1, Sa 2). Průměrná odtrhová pevnost se pohybovala mezi 4 až 5 MPa, což je hodnoceno jako dobrá přílnavost. Převážně docházelo k charakteristickému lomu mezi lepidlem a zkušebním tělískem. To vypovídá o tom, že nátěrový systém má ještě vyšší přílnavost než naměřené hodnoty.

Při stanovení obsahu těkavých organických látek (VOC) se projevil rozdíl mezi polyuretanovými (Amershield a Amercoat 450 s) nátěrovými systémy a epoxidovými (Amerlock 400 Al a Amerlock 400 Color), které měly nižší obsah VOC látek. Nejšetrnější k prostředí se jevil nátěrový systém Amerlock 400 Al.

Při experimentálních zkouškách se zásadně projevil vliv předúpravy povrchu podkladových materiálů. Nejhorší výsledky byly docíleny vždy na podkladových materiálech okartáčovaných na stupeň přípravy povrchu St 2. Nejlepší výsledky byly dosahovány na podkladových materiálech otryskaných na stupeň přípravy povrchu Sa 2 ½. Dobrých výsledků bylo také dosaženo na podkladových materiálech otryskaných na stupeň přípravy povrchu Sa 2 i Sa 1.

Aplikace nátěrových systémů na konstrukce z patinujících ocelí musí být uvážena a měla by se provádět v případě, že není zaručen vznik stabilní oxidické vrstvy. Tato aplikace by se měla provádět na povrchy předupravené nejlépe otryskáváním na stupeň přípravy Sa 2 ½, Sa 2, popř. Sa 1. Místa, kde z technických důvodů nelze provést otryskávání se musí důkladně okartáčovat. Na předupravený povrch lze aplikovat nátěrové systémy. Jako nejvhodnější se jeví epoxidové nátěrové hmoty (Amerlock 400 Al, Amerlock 400 Color), které mají dobrou korozní odolnost, odolnost v solicím roztoku, odolnost proti postřiku solicím roztokům, odolnost proti chemické zátěži a mají nízký obsah VOC látek. Tyto systémy však mají nižší přílnavost. Proto je vhodné používat

vícevrstvé systémy, kde se na první dvě vrstvy epoxidových nátěrových hmot aplikuje polyuretanová nátěrová hmota jako krycí vrstva.



## Společenský přínos

Mostní konstrukce patří k nedílné součásti dopravní infrastruktury a v budoucnu se tato skutečnost nezmění. Proto je nutné, aby byly projektovány mostní konstrukce s co nejdelší životností a zároveň, aby cena za realizaci byla co nejnižší. Tento předpoklad je splněn u mostních konstrukcí z patinujících ocelí, které za vhodných atmosférických podmínek na povrchu materiálu vytvářejí stabilní oxidickou vrstvu tzv. patinu. V opačném případě se tyto oceli vyznačují jako oceli uhlíkové, čímž dochází k degradaci. V těchto případech se doporučuje aplikace povrchové úpravy, např. nátěrový systém.

Společenský přínos disertační práce spočívá ve využití výsledků ve firmách zabývajících se aplikací nátěrových hmot na ocelové konstrukce, ale také ve firmách projektující mostní konstrukce, které zároveň navrhnou povrchovou úpravu. Nejlepší výsledky byly dosaženy nátěrovými systémy epoxidovými (Amerlock 400 Al, Amerlock 400 Color), které byly aplikovány na podkladové materiály otrýskané.

*Vědecký přínos disertační práce* spočívá v porovnání různých urychlených korozních zkoušek a atmosférické expozice nátěrových systémů. Přestože se VŠB – TU Ostrava, Fakulta strojní věnuje problematice povrchových úprav, nebyly dosud prováděny atmosférické zkoušky. Zavedení této metodiky do experimentálních metod sledování mechanismů degradace povrchových úprav je významným vědeckým přínosem pro činnost vysoké školy v tomto oboru.

Aplikace nátěrových systémů byla provedena na povrchy předupravené, ale také na povrch s již vytvořenou stabilní oxidickou vrstvou se stářím 24 let. Potvrdilo se, že aplikace na tyto povrchy bez správné předúpravy není vhodná, protože patinující vrstva není kompaktní. Práce poukazuje na skutečnost, že v TKP 19B není jednoznačně daná předúprava povrchu, zda kartáčovat nebo otrýskávat. Lze doporučit povrch před aplikací nátěrových systémů otrýskat a kartáčovat pouze ve výjimečných případech, kdy z technických důvodů nelze provést otrýskávání.

Z dosažených výsledků lze teoreticky předpokládat chování nátěrových systémů na mostních konstrukcích za reálných podmínek.

## Seznam použité literatury

- [1] POŠVÁŘOVÁ, M. *Hodnocení zbytkové životnosti hlavních ocelových částí mostních konstrukcí z ocelí se zvýšenou odolností proti atmosférické korozi*. Závěrečná zpráva 1F82C/012/910 projektu Ministerstva dopravy.
- [2] POŠVÁŘOVÁ, M. *Technické podmínky TP 197 Mosty a konstrukce pozemních komunikací z patinujících ocelí*. Praha: Ministerstvo dopravy, 2008. 106 s. ISBN 978-80-904172-1-2.
- [3] KREISLOVÁ, K.; KNOTKOVÁ, D. *Použití patinujících ocelí v architektuře*. Praha: SVUOM. Praha, 2011. 73 s. ISBN 978-80-87444-10-8.
- [4] KŘIVÝ, V.; KREISLOVÁ, K.; ROZLIVKA, L.; KNOTKOVÁ, D. *Směrnice pro používání ocelí se zvýšenou odolností proti atmosférické korozi*. Praha: SVUOM. Praha, 2010. 78 s. ISBN 978-80-87444-05-4.
- [5] KREISLOVÁ, K.; KNOTKOVÁ, D.; LOMOZOVÁ, A. *Korozní chování patinujících ocelí – Úvodní studie*. Výzkum vlastností stávajících a nově vyvíjených patinujících ocelí z hlediska jejich využití pro ocelové konstrukce. Zpráva FT-TA5/076-2008.
- [6] ŽÁČEK, O.; LIŠKA, M.; KOVÁŘ, R.; KREISLOVÁ, K. Vývoj nových konstrukčních patinujících ocelí. In *Ocelové konstrukce 2009*. Karlova studánka, 2009. s. 28-40. ISBN 978-80-86604-45-9.
- [7] HARA, S.; KAMIMURA, T.; MIYUKI, H.; YAMASHITA, M. Taxonomy for protective ability of rust layer. *Corrosion Science*. 2007, roč. 49, č. 3, s. ISSN 1131-1142.
- [8] DAMGAARD, N.; WALBRIDGE, S.; HANSSON, C.; YEUNG, J. Corrosion protection and assessment of weathering steel highway structures. *Journal of Constructional Steel Research*. 2010, roč. 66, č. 10, s. ISSN 1174-1185.
- [9] KNOTKOVÁ, D.; KREISLOVÁ, K. Změny korozní agresivity v České republice a Evropě. *Koroze a ochrana materiálu*. 1997, roč. 41, č. 4, s. 80-83. ISSN 1804-1213.
- [10] KREISLOVÁ, K.; KOUKALOVÁ, A.; KNOTKOVÁ, D. Trendy korozní agresivity atmosféry a korozních úbytků uhlíkové oceli v atmosférických podmínkách. *Koroze a ochrana materiálu*. 2010, roč. 54, č. 1, s. 3-6. ISSN 1804-1213.

- [11] LANÍK, T. *Vliv efektivity použití ochranných povlaků na životnost samo pasivujících materiálů pro mostní konstrukce*. Ostrava, 2010. 62 s. Teze doktorské disertační práce na strojní fakultě VŠB – TUO na katedře mechanické technologie. Vedoucí doktorských tezí doc. Ing. Jitka Podjuklová, Csc.
- [12] *Steel Bridge Construction: Myths & Realities*, American Iron and Steel Institute, 2007.
- [13] WANG, J.; WANG, ZY.; KE, W. Corrosion behaviour of weathering steel in diluted Qinghai salt lake water in a laboratory accelerated test that involved cyclic wet/dry conditions. *Materials Chemistry and Physics*. 2010, roč. 124, s. 952-958. ISSN 0254-0584.
- [14] KREISLOVÁ, K.; KNOTKOVÁ, D.; LOMOZOVÁ, A. *Korozní charakteristiky odvozené z hodnocení typických konstrukcí*. Výzkum vlastností stávajících a nově vyvíjených patinujících ocelí z hlediska jejich využití pro ocelové konstrukce. Závěrečná zpráva za rok 2009 E6-3 FT-TA5/076-2009.
- [15] ROZLÍVKA, L.; KREISLOVÁ, K.; KNOTKOVÁ, D.; KŘIVÝ, V.; LOMOZOVÁ, A.; KOLOUCH, D. *Hodnocení vybraných konstrukcí mostů, stožárů a objektů z patinujících ocelí*. Výzkum vlastností stávajících a nově vyvíjených patinujících ocelí z hlediska jejich využití pro ocelové konstrukce. Závěrečná zpráva za rok 2009 E4-5 FT-TA5/076-2009.
- [16] KREISLOVÁ, K. *Závěrečná zpráva o řešení projektu*. Výzkum vlastností stávajících a nově vyvíjených patinujících ocelí z hlediska jejich využití pro ocelové konstrukce. Závěrečná zpráva o řešení projektu FT-TA5/076.2011
- [17] KREISLOVÁ, K.; KNOTKOVÁ, D.; KOUKALOVÁ, A.; KŘIVÝ, V.; ROZLÍVKA, L.; PODJUKOVÁ, J.; LANÍK, T. Vliv environmentálních a konstrukčních podmínek na korozní rychlost patinujících ocelí a tvorbu ochranné patiny. In *XII. Konference Ocelové konstrukce 2010*. Karlova Studánka, duben 2010, s. 37-45. ISBN 978-80-86604-49-7.
- [18] BARTH, K. E. An Assessment of Weathering Steel Bridges in West. In *Proceedings of 8th International Conference*. Canada, Niagara Falls, 2010. s. 361-370.
- [19] KŘIVÝ, V.; ROZLÍVKA, L.; KREISLOVÁ, K. Poznatky z kontrolních prohlídek dlouhodobě exponovaných konstrukcí. In *Seminář k výsledkům výzkumného projektu MPO - FT-TA5/076*. Ostrava, 2010.

- [20] ARACIC, S.; KRUMES, D.; MATICEVIC, T. Research into the possibility of using the new generation paint systems for the anticorrosion protection of steel structures. *Tehnicki vjesnik – Technical Gayette*. 2009, roč. 16, s. 75-79. ISSN 1330-3651
- [21] LINHARTOVA, D. *Vlastnosti a aplikace vybraných anti-depozitních a anti-graffiti polymerních povlaků*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, 2009. 75 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Jaromír Tulka, CSc.
- [22] KŘIVÝ, V.; ROZLIVKA, L.; KREISLOVÁ, K. Zkušenosti a poznatky z uplatnění patinujících ocelí na mostech v České republice. *SILNICE ŽELEZNICE*. 2010, roč. 5, č. 1, s. 57-61. ISSN 1803-8441.
- [23] KREISLOVÁ, K.; KNOTKOVÁ, D.; LOMOZOVÁ, A.; ULMANN, J.; LANÍK, T. *Monitoring prostředí vybraných konstrukcí*. Výzkum vlastností stávajících a nově vyvíjených patinujících ocelí z hlediska jejich využití pro ocelové konstrukce. Závěrečná zpráva za rok 2009 E4-3 FT-TA5/076-2009.
- [24] KALEDOVÁ, A.; KALENDA, P. *Technologie nátěrových hmot I: Pojiva, rozpouštědla a aditiva pro výrobu nátěrových hmot*. Pardubice: Univerzita Pardubice, Fakulta Chemicko-technologická, 2004. 328 s. ISBN 80-7194-691-5.
- [25] BIŇOVCOVÁ, L. *Studium chemické odolnosti PUR povlaků v prostředí acetalů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, 2009. 48 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jaromír Tulka, CSc.
- [26] KUBÁTOVÁ, H. a kol. *Nátěry kovů*. Praha: Grada publishing, spol. s r. o., 2000, 101 s. ISBN 80-247-9035-1.
- [27] KALEDOVÁ, A.; a kol. Antikorozní pigmenty na bázi sloučenin oxidu křemičitého. *Koroze a ochrana materiálů* 1998, roč. 42, č. 3, s. 55-57. ISSN 1804-1213.
- [28] KALEDOVÁ, A. Antikorozní pigmenty pro ekologické nátěrové hmoty. *CHEMagazín*. 2002, č. 3, s. 10-12. ISSN 1210-7409.
- [29] KALEDOVÁ, A.; RAŠKOVÁ, K. Funkční plniva pro optimalizaci vlastností nátěrových hmot. *CHEMagazín*. 2003, č. 4, s. 14-18. ISSN 1210-7409.
- [30] Mazura, J. Vlastnosti vysokosušinových epoxidových nátěrových hmot. *Koroze a ochrana materiálů*. 2002, roč. 46, č. 1, s. 15–16. ISSN 1804-1213.
- [31] ŠIŠPEROVÁ, M. Organická rozpouštědla a možnosti jejich zpracování. *MM Průmyslové spektrum*. 2007, č. 4, s. 80. ISSN 1212-2572.

- [32] SVOBODA, M. *Protikorozní ochrana kovů organickými povlaky*. Praha: SNTL, 1985. 235 s.
- [33] LANÍK, T. *Studium vlivu znečištění kovového povrchu*. Ostrava: Vysoká škola Báňská - Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, 2006. 57 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Jitka Podjuklová, CSc.
- [34] MOHYLA, M. *Technologie povrchových úprav kovů*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 1995. 151 s. ISBN 80-7078-267-6
- [35] SIOSTRZONEK, R. *Studium vývojové řady ochranných systémů na bázi siloxanu*. Ostrava, 2007. 150 s. Disertační práce na strojní fakultě VŠB – TUO na katedře mechanické technologie. Vedoucí disertační práce doc. Ing. Jitka Podjuklová, Csc.
- [36] ZRŮNEK, M. *Úprava povrchu kovových konstrukcí*. Praha: SNTL, 1981, 117 s.
- [37] ČUMPELÍK, J. Tryskání suchým ledem. *MM Průmyslové spektrum*. 2006, č. 4, s. 62. ISSN 1212-2572.
- [38] Katalog firmy KÄRCHER. *Innovative cleaning with dry ice: No residue, no chemicals*. 1997, 8 s.
- [39] POŠVÁŘOVÁ, M. *Kapitola 19 - Protikorozní ochrana ocelových mostů a konstrukcí, část B*. Praha: Ministerstvo dopravy, 2008. 89 s.
- [40] *Hodnocení zbytkového znečištění mastnotou*. Příručka firmy EVERSTAR.
- [41] KRAUS, V. *Povrchy a jejich úpravy*, Plzeň: Západočeská univerzita, 2000. 216 s. ISBN 80-7082-668-1.
- [42] HOŘEJŠ, V. *Speciální nátěry*. Praha: SNTL, 1968. 180 s.
- [43] NĚMEC M. Povrchová úprava ocelových konstrukcí. In *Povrchové úpravy 2003*. Jihlava, 2003. s. 5 – 9.
- [44] KERKOFF, P. *Příručka k řešení problémů*. Vogel, 1995. 40 s.
- [45] NEVĚČNÝ, P. Ochranné povlakové systémy část II. *Koroze a ochrana materiálů*. 2004, roč. 48, č. 1, s. 4-7. ISSN 1804-1213.
- [46] NICOLAI, R.P.; FRENK, J. B. G.; DEKKER, R. Modelling and optimizing imperfect maintenance of coatings on steel structures. In *European Safety and Reliability Conference*. Estoril – Portugalsko, 2006, roč. 31, s. 234-244. ISSN 0167-4730.

- [47] STUDNIČKA, J. *Ocelové konstrukce*. Praha: ČVUT, 2004. 144 s. ISBN 80-01-02942-5.
- [48] PODJUKLOVÁ, J.; LANÍK, T.; PELIKÁNOVÁ, K.; DOBROVODSKÁ, L.; BÁRTEK, V. *Korozní charakteristiky ocelí odvozené ze zkoušek a z hodnocení typických konstrukcí*. Výzkum vlastností stávajících a nově vyvíjených patinujících ocelí z hlediska jejich využití pro ocelové konstrukce. Zpráva E6-5 FT-TA5/076-2009.
- [49] MALINSKÝ, P. *Studium procesů ve strukturách polymer/kov modifikovaných plasmatickým výbojem s využitím jaderných analytických metod*. Ústí nad Labem, 2007. 78 s. Diplomová práce na Univerzitě Jana Evangelisty Purkyně. Vedoucí diplomové práce RNDr. Anna Macková, Ph. D.
- [50] PODJUKLOVÁ, J.; HRABOVSKÁ, K.; MENŠÍKOV, V.; a kol. *Průběžná zpráva projektu ME 08083 za rok 2009, NANO – 07*. Ostrava, VŠB – TU Ostrava, Fakulta strojní, Katedra mechanické technologie, 2010.
- [51] *LestenieAut.sk* [online]. 2010 [cit. 2011-01-16]. Chyby lakov. URL: <<http://lestenieaut.sk/chyby.html>>.
- [52] Patinující ocel [online]. 2008, [cit. 2010-02-05]. URL:<[http://www.atmofix.cz/ocel\\_cz.php](http://www.atmofix.cz/ocel_cz.php)>
- [53] *Spraying Systems* [online]. 2011 [cit. 2011-04-05]. Základy trysek – Charakteristika rozstřiku. URL: <[http://www.spray.cz/produkty\\_rozstrik.php](http://www.spray.cz/produkty_rozstrik.php)>.
- [54] *Zajímavosti a aplikace nátěrů*. [online]. 2011 [cit. 2011-04-05]. URL: <[http://www.perge.cz/data/blob/xzajímavosti-application\\_pdf-20080821120053-3067-aplikace-nateru.pdf](http://www.perge.cz/data/blob/xzajímavosti-application_pdf-20080821120053-3067-aplikace-nateru.pdf)>.
- [55] 2004/42/ES. *Směrnice evropského parlamentu a rady 2004/42/ES o omezování emisí těkavých organických sloučenin vznikajících při používání organických rozpouštědel v některých barvách a lacích a výrobcích pro opravy nátěru vozidel a o změně směrnice 1999/12/ES*. Štrasburk, duben 2004.
- [56] Česko. Zákon č. 86/2002 Sb. ze dne 14. února 2002 o ochraně ovzduší a o změně některých dalších zákonů. In *Sbírka zákonů České republiky*. 2002.
- [57] Česko. Zákon č. 356/2003 Sb. ze dne 23. září 2003 o chemických látkách a chemických přípravcích a o změně některých zákonů. In *Sbírka zákonů České republiky*. 2003.



- [58] ČSN EN ISO 12 944-2. *Nátěrové hmoty – Protikorozní ochrana ocelových konstrukcí ochrannými nátěrovými systémy – Část 2: Klasifikace vnějšího prostředí*. Praha: Český normalizační institut, 1998.
- [59] ČSN ISO 9226 *Koroze kovů a slitin. Korozní agresivita atmosféry. Stanovení korozní rychlosti standardních vzorků pro určení korozní agresivity*. Praha: Český normalizační institut, 1994.
- [60] ČSN ISO 8407 *Koroze kovů a slitin. Odstraňování korozních zplodin ze vzorků podrobených korozním zkouškám*. Praha: Český normalizační institut, 1995.
- [61] ČSN EN ISO 8565 *Kovy a slitiny - Atmosférické korozní zkoušky - Základní požadavky na staniční zkoušky*. Praha: Český normalizační institut, 1996.
- [62] ČSN EN ISO 8501-1. *Příprava ocelových povrchů před nanesením nátěrových hmot a obdobných výrobků - Vizuální vyhodnocení čistoty povrchu - Část 1: Stupně zarezavění a stupně přípravy ocelového podkladu bez povlaku a ocelového podkladu po úplném odstranění předchozích povlaků*. Praha: Český normalizační institut, 2007.
- [63] ČSN EN ISO 8501-4. *Příprava ocelových povrchů před nanesením nátěrových hmot a obdobných výrobků – Vizuální hodnocení čistoty povrchu – Část 4: Výchozí stav povrchu, stupně přípravy a bleskové koroze po vysokotlakém tryskání vodou*. Praha: Český normalizační institut, 2007.
- [64] ČSN ISO 8502-3. *Příprava ocelových podkladů před nanesením nátěrových hmot a obdobných výrobků. Zkoušky pro vyhodnocení čistoty povrchu. Část 3: Stanovení prachu na ocelovém povrchu připraveném pro natírání (metoda snímání samolepicí páskou)*. Praha: Český normalizační institut, 1996.
- [65] ČEN EN ISO 8504-2. *Příprava ocelových podkladů před nanesením nátěrových hmot a obdobných výrobků - Metody přípravy povrchu - Část 2: Otryskávání*. Praha: Český normalizační institut, 2007.
- [66] ČSN EN ISO 4628-2. *Nátěrové hmoty – Hodnocení degradace nátěrů – Klasifikace množství a velikosti defektů a intenzity jednotlivých změn vzhledu – Část 2: Hodnocení stupně puchýřkování*. Praha: Český normalizační institut, 2004.
- [67] ČSN EN ISO 4628-3. *Nátěrové hmoty – Hodnocení degradace nátěrů – Klasifikace množství a velikosti defektů a intenzita jednotných změn vzhledu – Část 3: Hodnocení stupně prorozavění*. Praha: Český normalizační institut, 2004.

- [68] ČSN EN ISO 4628-8. *Nátěrové hmoty – Hodnocení degradace nátěrů – Klasifikace množství a velikosti defektů a intenzita jednotlivých změn vzhledu – Část 8: Hodnocení stupně delaminace a koroze v okolí řezu*. Praha: Český normalizační institut, 2004.
- [69] ASTM D 610-01. *Standard Test Method for Evaluating Degree of Rusting on Painted Steel Surfaces*. ASTM, 2001.
- [70] ČSN EN ISO 4287. *Geometrické požadavky na výrobky (GPS) - Struktura povrchu: Profilová metoda - Termíny, definice a parametry struktury povrchu*. Praha: Český normalizační institut, 1999.
- [71] ČSN EN ISO 2808. *Nátěrové hmoty - Stanovení tloušťky nátěru*. Praha: Český normalizační institut, 2007.
- [72] ČSN EN ISO 9227 – *Korozní zkoušky v umělých atmosférách. Zkoušky solnou mlhou*. Praha, Český normalizační institut, 2007.
- [73] ČSN EN ISO 11130. *Koroze kovů a slitin - Zkouška střídavým ponorem do solného roztoku*. Praha: Český normalizační institut, 2000.
- [74] ISO 11474. *Corrosion of metals and alloys – Corrosion tests in artificial atmosphere – Accelerated outdoor test by intermittent spraying of a salt solution (Scab test)*. International Organization for Standardization, 1995.
- [75] ČSN 67 3087 – *Zrychlená ponorová zkouška odolnosti nátěrů proti podkorodování – Postup podle Machu a Schiffmana. Laboratorní zkoušky ochranné účinnosti nátěrů na kovech*. Praha, Český normalizační institut, 1981.
- [76] ČSN EN ISO 16276-1. *Ochrana ocelových konstrukcí proti korozi ochrannými nátěrovými systémy - Hodnocení a kritéria přijetí, adheze/koheze (odtrhová pevnost) povlaku - Část 1: Odtrhová zkouška*. Praha: Český normalizační institut, 2007.
- [77] ČSN EN ISO 16276-2. *Ochrana ocelových konstrukcí proti korozi ochrannými nátěrovými systémy - Hodnocení a kritéria přijetí, adheze/koheze (odtrhová pevnost) povlaku - Část 2: Mřížková zkouška a křížový řez*. Praha: Český normalizační institut, 2008.
- [78] ČSN EN ISO 2409. *Nátěrové hmoty – Mřížková zkouška*. Praha: Český normalizační institut, 2007.

**Publikace autora související s danou problematikou**

1. PODJUKLOVÁ, J.; DOBROVODSKÁ, L.; PELIKÁNOVÁ, K.; LANÍK, T.; HRABOVSKÁ, K. Environmental paint system in Corrosion loading conditions. *Acta mechanica Slovaca*, Košice, Slovenská republika, 2008, s. 221-224. ISSN 1335-2393.
2. PODJUKLOVÁ, J.; DOBROVODSKÁ, L.; PELIKÁNOVÁ, K.; LANÍK, T.; HRABOVSKÁ, K. Studium vlivu solícího prostředku na korozní odolnost nátěrového systému. In *XI. Konference Ocelové konstrukce 2009*. Karlova Studánka, duben 2009, s. 131-137. ISBN 978-80-86604-45-9.
3. PODJUKLOVÁ, J.; LANÍK, T.; HRABOVSKÁ, K.; DOBROVODSKÁ, L.; PELIKÁNOVÁ, K. Vývojové trendy v použití ochranných povlaků. In *18. Mezinárodní konference metalurgie a materiálů - METAL 2009*. Hradec nad Moravicí, květen 2009, 66 s. ISBN 978-80-87294-03-1.
4. PODJUKLOVÁ, J.; DOBROVODSKÁ, L.; PELIKÁNOVÁ, K.; LANÍK, T.; HRABOVSKÁ, K. Studium vlivu solícího prostředku na korozní odolnost nátěrového systému. *KONSTRUKCE: odborný časopis pro stavebnictví a strojírenství*, červenec, roč. 9, č. 4. ISSN 1803-8433.
5. DOBROVODSKÁ, L.; PODJUKLOVÁ, J.; HRABOVSKÁ, K.; LANÍK, T.; PELIKÁNOVÁ, K.; MENŠIKOV, V. V. Vývojové trendy v použití ochranných povlaků. In *1. Mezinárodní konference Nanocon 2009*. Rožnov pod Radhoštěm, říjen 2009, č. př. 89. ISBN 978-80-87294-12-3.
6. KREISLOVÁ, K.; KNOTKOVÁ, D.; KOUKALOVÁ, A.; KŘIVÝ, V.; ROZLÍVKA, L.; PODJUKOVÁ, J.; LANÍK, T. Corrosion behaviour of weathering steels in the Czech republic. In *2. Mezinárodní konference koroze a protikorozní ochrana materiálu*. Praha, duben 2010, č. př. O056. ISBN 978-80-9039933-6-3.
7. KREISLOVÁ, K.; KNOTKOVÁ, D.; KOUKALOVÁ, A.; KŘIVÝ, V.; ROZLÍVKA, L.; PODJUKOVÁ, J.; LANÍK, T. Vliv enviromentálních a konstrukčních podmínek na korozní rychlost patinujících ocelí a tvorbu ochranné patiny. In *XII. Konference Ocelové konstrukce 2010*. Karlova Studánka, duben 2010, s. 37-45. ISBN 978-80-86604-49-7.

8. LANÍK, T.; PODJUKLOVÁ, J.; KREISLOVÁ, K.; PELIKÁNOVÁ, K.; DOBROVODSKÁ, L.; BÁRTEK, V.; HRABOVSKÁ, K. Increase lifetime of weathering steel of using protective coatings. In *European conference – Junior Euromat 2010*, Lausanne, Švýcarsko, červenec 2010.
9. KREISLOVÁ, K.; KNOTKOVÁ, D.; KOUKALOVÁ, A.; KŘIVÝ, V.; ROZLIVKA, L.; PODJUKLOVÁ, J.; LANÍK, T. Vliv environmentálních a konstrukčních podmínek na korozní chování konstrukcí z ocelí se zvýšenou odolností proti atmosférické korozi. In *1. Odborná konference KONSTRUKCE 2010: Konference České asociace ocelových konstrukcí*, Lednice, říjen 2010, ISBN 978-80-904535-5-5.
10. KREISLOVÁ, K.; KNOTKOVÁ, D.; KOUKALOVÁ, A.; KŘIVÝ, V.; ROZLIVKA, L.; PODJUKLOVÁ, J.; LANÍK, T. Vliv environmentálních a konstrukčních podmínek na korozní chování konstrukcí z ocelí se zvýšenou odolností proti atmosférické korozi. *KONSTRUKCE: odborný časopis pro stavebnictví a strojírenství*, 6/2010, s. 36-40. ISSN 1803-8433.
11. LANÍK, T.; PODJUKLOVÁ, J.; KREISLOVÁ, K.; BÁRTEK, V.; HRABOVSKÁ, K.; ŠRUBAŘ, P.; SUCHÁNKOVÁ, K.; KOPAŇÁKOVÁ, S. Aplikace nátěrových systémů na konstrukce z patinujících ocelí. In *Mezinárodní konference Povrchové Inženýrstvo 2010*. Košice, Slovenská republika, listopad 2010, s. 85-90. ISSN 1337-7094.
12. LANÍK, T.; PODJUKLOVÁ, J.; KREISLOVÁ, K.; BÁRTEK, V.; ŠRUBAŘ, P.; SUCHÁNKOVÁ, K.; KOPAŇÁKOVÁ, S. Construction from weathering steels with paint systems applied. In *20. Mezinárodní konference metalurgie a materiálů - METAL 2011*. Brno, květen 2011, s. 85-86 ISBN 978-80-87294-22-2.
13. ŠRUBAŘ, P.; PODJUKLOVÁ, J.; LANÍK, T.; KREISLOVÁ, K.; BÁRTEK, V.; SUCHÁNKOVÁ, K.; KOPAŇÁKOVÁ, S. Influence of environmental conditions on the corrosion rate of weathering steels and creation of protective patina. In *20. Mezinárodní konference metalurgie a materiálů - METAL 2011*. Brno, květen 2011, s. 95-96. ISBN 978-80-87294-22-2.
14. KOUKALOVÁ, A.; KREISLOVÁ, K.; GEIPLOVÁ, H.; LANÍK, T.; HOVORKOVÁ, K. Vliv chloridů na dopravní stavby a komunikace. *Koroze a ochrana materiálu*. 2011, roč. 55, č. 2, s. 44-50. ISSN 1804-1213.

15. KREISLOVÁ, K.; KOUKALOVÁ, A.; LANÍK, T.; HOVORKOVÁ, K. Životnost zinkových povlaků na konstrukcích dopravní infrastruktury. In *17. konference žárového zinkování*. Ostrava, červen 2011. ISBN 978-80-254-9364-9.
16. KREISLOVÁ, K.; GEIPLOVÁ, H.; LANÍK, T.; HOVORKOVÁ, K. The effect of road environment on corrosion of the infrastructure constructions. In *EUROCORR 2011*, 5-8. 9. 2011, Stockholm, Sweden.
17. LANÍK, T.; PODJUKLOVÁ, J.; HRABOVSKÁ, K.; BÁRTEK, V.; ŠRUBAŘ, P.; SUCHÁNKOVÁ, K.; KOPAŇÁKOVÁ, S. Přilnavost nátěrových systémů na konstrukce z patinujících ocelí. *Koroze a ochrana materiálu*. 2011, roč. 55, č. 3, s. 96-108. ISSN 1804-1213.

## Seznam příloh

Příloha č. 1	Naměřené hodnoty korozní vrstvy na vzorcích Atmosfix 24 let exp. (St 2, Sa 1, Sa 2)
Příloha č. 2	Naměřené hodnoty drsnosti podkladových materiálů
Příloha č. 3	Technický a aplikační list nátěrového systému Amershield
Příloha č. 4	Technický a aplikační list nátěrového systému Amercoat 450 S
Příloha č. 5	Technický a aplikační list nátěrového systému Amerlock 400 Al
Příloha č. 6	Technický a aplikační list nátěrového systému Amerlock 400 Color
Příloha č. 7	Tabulky tloušťek nátěrových systémů
Příloha č. 8	Tabulky s hodnocením nátěrových systémů exponovaných v korozní komoře
Příloha č. 9	Tabulky s hodnocením nátěrových systémů exponovaných v solném roztoku
Příloha č. 10	Tabulky s hodnocením nátěrových systémů po působení postřiku solným roztokem
Příloha č. 11	Tabulky s hodnocením nátěrových systémů exponovaných při zrychlené ponorové zkoušce
Příloha č. 12	Tabulky s vyhodnocením odtrhové zkoušky přilnavosti
Příloha č. 13	Tabulky s vyhodnocením mřížkové zkoušky přilnavosti
Příloha č. 14	Naměřené hodnoty úbytku VOC látek v nátěrových hmotách
Příloha č. 15	Fotodokumentace nátěrových systémů exponovaných v korozní komoře
Příloha č. 16	Fotodokumentace nátěrových systémů exponovaných v solném roztoku
Příloha č. 17	Fotodokumentace nátěrových systémů exponovaných po působení postřiku solným roztokem
Příloha č. 18	Fotodokumentace nátěrových systémů exponovaných ve zrychlené ponorové zkoušce
Příloha č. 19	Závěr disertační práce v anglickém jazyce



### ***Poděkování***

Chtěl bych poděkovat vedoucí disertační práce doc. Ing. Jitce Podjuklové, CSc., prof. h.c., za odborné vedení. Zároveň chci poděkovat zaměstnancům VŠB-TU Ostrava a všem, kteří se jakýmkoliv způsobem podíleli při realizaci této disertační práce.

Zvláštní poděkování patří Ing. Kateřině Kreislové, Ph.D. za odbornou pomoc, cenné rady a připomínky v průběhu zpracovávání disertační práce.

